Fémek témaköre
Acélbetét korróziója kloridok hatására. A beton XD2 környezeti osztályba sorolása *(2016. augusztus)*
Acélgyártás termékeinek (és melléktermékeinek) rövid ismertetése *(2005. október)*
Acél húzószilárdsága, alakváltozása és jelölése *(2005. október*, frissítés: *2006. április, 2008. október, 2017. február)*
Acél rugalmassága (látványosan): képekben; rövid film *(2007. augusztus)* **A rövid filmet lásd: VIDEÓ**
Alumínium rúd hőtágulása *(2003. december)*
Betonacélok, feszítőacélok, esetenként fémek alakváltozási és szilárdsági tulajdonságai jelölésének áttekintő táblázata *(2022. május)*
Keménység, keménységmérés *(2010. augusztus, frissítve: 2020. június)*
Ütőmunka *(2003. december)*

Fémek témaköre
Acélbetét korróziója kloridok hatására. A beton XD2 környezeti osztályba sorolása *(2016. augusztus)*
Acélgyártás termékeinek (és melléktermékeinek) rövid ismertetése *(2005. október)*
Acél húzószilárdsága, alakváltozása és jelölése *(2005. október*, frissítés: *2006. április, 2008. október, 2017. február)*
Acél rugalmassága (látványosan): képekben; rövid film *(2007. augusztus)* **A rövid filmet lásd: VIDEÓ**
Alumínium rúd hőtágulása *(2003. december)*
Betonacélok, feszítőacélok, esetenként fémek alakváltozási és szilárdsági tulajdonságai jelölésének áttekintő táblázata *(2022. május)*
Keménység, keménységmérés *(2010. augusztus, frissítve: 2020. június)*
Ütőmunka *(2003. december)*

KLORIDTARTALMÚ VÍZZEL TARTÓSAN ÉRINTKEZŐ VASBETON SZERKEZETEK BETONJÁNAK XD2 KÖRNYEZETI OSZTÁLYBA SOROLÁSA

Bevezetés

A kloridok a sósav (HCl) sóinak negatív töltésű ionjai. A sósav legfontosabb sói a nátrium-klorid (NaCl), a kalcium-klorid $CaCl_2$) és a magnézium-klorid ($MgCl_2$). A kloridok talajvízből, gyógyvízből, téli olvasztósóból, ipari és mezőgazdasági anyagokból, tengervízből, levegőből (például tengeri levegőből vagy PVC égéstermékből) stb. kerülhetnek a betonba, illetve vasbetonba (*Biczók*, 1960; *Springenschmid*, 2007).

Az északi-tenger sótartalma 3% (30000 mg/liter), a Balti-tengeré 0,06-0,15% (brakkvíz vagy félsós víz, 600-1500 mg/liter), a Földközi-tengeré 3,7% (37000 mg/liter), az Atlanti-óceáné 3,5% (35000 mg/liter), a holt-tengeré 30% (300000 mg/liter).

Európában vannak sós vizű fürdők, amelyeknek nagyon nagy, 10000 – 65000 mg/liter a kloridtartalma, általában a hőmérséklete is. Ilyen esetekben általában vízzáró réteggel szokták ellátni a vasbetont, vagy esetleg nagyon nagy betonfedést alkalmaznak, mert az MSZ EN 206:2014 szabvány szerinti XD vagy XS környezeti osztály követelményeinek teljesítése nem elegendő. A megoldást esetenként kell kidolgozni.

A nyíregyházi Sóstó 36-40 °C hőmérsékletű termálvizének kloridion-tartalma 1460 mg/liter (http://www.sostort.hu/hu/Gyogyvizunkrol).

Az édesvizek oldott szervetlen anyag tartalma $\leq$ 500 mg/liter, sótartalma $\leq$ 400 mg/liter. A brakkvíz sótartalma 500-30000 mg/liter, a sós víz sótartalma 30000-50000 mg/liter, a telített sós víz sótartalma > 50000 mg/liter.

Az uszodák vizének kloridtartalma (a sós vagy tengeri vizű fürdők kivételével, és a tisztítószerek stb. hatását nem számítva) általában 200-400 mg/liter.

Az ivóvíz kloridtartalmának határéke a 201/2001.(X.25.) Korm. rendeletben 250 mg/liter.

A betonra a természetes vizek kloridjai kémiailag általában nem veszélyesek. Ennek ellenére a vizeknek 1500 mg/liter kloridtartalom felett, gyakori nedvesség-tartalom változás esetén már ez alatt is, gyenge korróziós hatása van (*Grübl* et al., 2001).

A betonacél korróziójához oxigénre és vízre van szükség. A kloridok korrozív hatása a vasbeton szerkezeteket illetően abban áll, hogy a kloridok a betonacél elektrokémiai korrózióját felgyorsítják, mert a kloridionokat tartalmazó víz – mint elektrolit-oldat – az áramot a „tiszta" víznél jobban vezeti (*Benedix*, 2008).

A tengervíz nagy magnézium- és szulfáttartalmánál fogva veszélyesebb a beton, illetve vasbeton szerkezetek korróziója szempontjából, mint a szárazföldi, azaz „nem tengervizek". Ezért az MSZ EN 206:2016 európai betonszabványban a tengervízzel és a szárazföldi vizekkel, azok párájával érintkező, kloridok hatásának kitett betonokat, illetve vasbeton szerkezeteket külön környezeti osztályokba sorolják; az előbbiek környezeti feltételeit az XS környezeti osztályokban, az utóbbiak környezeti feltételeit az XD környezeti osztályokban tárgyalják.

Az MSZ EN 206:2014 és MSZ 4798:2016 betonszabvány szerint a nem tengervízből származó kloridok okozta acélkorrózió kockázata esetén a vasbeton betonját

- ha a környezet mérsékelten nedves (például sópárával érintkező betonok esete), akkor XD1;

- ha a környezet nedves, ritkán száraz (például úszómedencék, kloridtartalmú talajvízzel vagy ipari vízzel érintkező betonok esete), akkor XD2;
- ha a környezet váltakozva nedves és száraz (például kloridtartalmú vízpermettel érintkező hídelemek, járdák és útburkolatok, autóparkolók födémeinek esete), akkor XD3

környezeti osztályba kell sorolni.

A kloridtartalmú vízzel tartósan érintkező vasbetonok betonjai az XD2 környezeti osztályba sorolandók, általában az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti XA1 – XA3 (természetes talajok és talajvizek) vagy XA4(H) – XA6(H) (agresszív szennyvizek és egyéb folyadékok) környezeti osztályok valamelyikével társított környezeti osztály formájában. A 2016. április 1-jén megjelent MSZ 4798:2016 szabványban mind az XA1 – XA3, mind az XA4(H) – XA6(H) környezeti osztályokba sorolás kémiai feltételei megtalálhatók, az XD2 környezeti osztályba sorolás kémiai feltételéről azonban nem esik szó, holott annak megfogalmazására és egységes betontechnológiai alkalmazására feltétlen szükség van.

Ezért a kloridtartalom határértékével szabályozni kell, hogy a talajvízzel, szennyvízzel stb. tartósan érintkező vasbeton betonját mikor kell az XD2 környezeti osztályba sorolni, az XD2 környezeti osztályú betont milyen cementtel kell készíteni, mi a teendő, ha a talajvíz, szennyvíz stb. egyidejűleg szulfátos is.

E dolgozatban

- áttekintjük, hogy a kloridtartalmú víz miért jelent veszélyt a megszilárdult vasbetonra, ha azt tartósan veszi körül;
- megfogalmazzuk az XD2 környezeti osztályba sorolás kémiai feltételeit;
- javaslatot teszünk a cement-, illetve kötőanyag-követelményekre.

Acélbetét korróziójának elektrokémiai magyarázata.
Irodalmi áttekintés

Fogalom-meghatározások:

Diffúzió: A diffúzió anyagtranszport folyamat, az anyag építőelemeinek – az elektronoknak, az ionoknak, az atomoknak, a molekuláknak és a kolloid részecskéknek – a nagy kémiai potenciálú helyekről a kis kémiai potenciálú helyekre való áramlása. A diffúziós mérésnek nevezett eljárás során a diffúziós együtthatót a kloridtartalmú oldatot és a kloridmentes oldatot elválasztó beton próbatestben kialakuló ionáram következtében kialakuló oldat-koncentráció-különbségből határozzák meg (*Dahme*, 2006).

Migráció: A migráció az ionok mozgása az elektrolitokban elektromos tér hatására. Migráció mérésén alapul a göteborgi *Chalmers University of Technology* által kidolgozott skandináv „NT Build 492" *gyors módszer* a diffúziós együttható meghatározására (2000), amelyet a német *Bundesanstalt für Wasserbau* (2004) foglalt műszaki irányelvbe. (NT = Nord Test). Jónak a $D_{nssm} \leq 8 \cdot 10^{-12}$ m^2/s migrációs együttható értékeket szokták tartani.

Az ionok mozgását (transzportját) hajtó erő más a *diffúziós mérés*, és más a *migrációs mérés* esetében. A hajtóerő a *diffúziós mérés* esetén a Cl koncentrációs gradiens, a *migrációs mérés* esetén viszont az elektromos erőtér, amely erőtér a cementkő klorid-megkötő képességét befolyásolja. Ebből adódik, hogy a D_{nssm} *migrációs* együttható értéke hasonló a D_{nssd} *diffúziós* együttható értékéhez (**n**on-**s**teady-**s**tate = nem állandó

áramláson mért migráció, illetve diffúzió). Ennek tudható be, hogy a diffúziós és a migrációs tényezőt sokszor nem különböztetik meg, hanem a hajtóerő miben létének figyelmen kívül hagyásával mind a két vizsgálati módszer esetén diffúziós tényezőről beszélnek.

A kloridtartalmú vízzel érintkező megszilárdult betonba a kloridionok főképp kapilláris vízfelszívással (Huckepack-Transport) vagy kloridkoncentráció-különbség okozta diffúzió következtében kerülhetnek. A kloridion-behatolás a kapilláris vízfelszívással nagyságrenddel nagyobb és gyorsabb, mint a diffúzióval (*Grübl* et al., 2001; *Springenschmid*, 2007).

Téli időszakban a mikro-jéglencsék fagyási-olvadási ciklusokkal járó térfogatátváltozása is kloridionokat juttathat a gélpórusvízbe (Mikroeislinsenpumpe). A klorid-behatolás jelenségét leíró numerikus modellek feltételezik, hogy a tartósan klorid-oldattal érintkező betonokba a kloridionok kizárólag diffúzió útján jutnak (*Dahme*, 2006).

A beton cementköve, ha nem karbonátosodott, akkor a betonba jutó kloridionok egy részét kémiailag és fizikailag stabil vegyület, kalcium-kloroaluminát vagy kalcium-kloroaluminát-ferrit (Friedel-só = $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$, illetve Friedel-só vasanalógja = $C_3A/F \cdot CaCl_2 \cdot H_{10}$) formájában megköti (*Dahme*, 2006; *Benedix*, 2008). A kloridionoknak ez a kötött formája a C_3A (trikalcium-aluminát, felit), illetve a C_4AF (tetrakalcium-aluminát-ferrit, celit) klinkerásványok és a kloridionok közötti reakció során jön létre, ha az oldat klorid-tartalma nem több, mint 10000 mg/liter (*Stark – Wicht*, 2013).

A Friedel-só formájában kémiailag kötött kloridionok egy része a beton karbonátosodása során szabad kloridion formába kerülhet, mert a Friedel-só ilyen körülmények között kevésbé stabil. A kloridion megkötés feltétele az aluminátok jelenléte, vagy más olyan forrás a cementben (mint például a cementben lévő kohósalak), amelynek az Al-tartalma ehhez hozzá tud járulni.

Amíg a cementkőben kémiailag megkötött kloridok veszélytelenek, addig a pórusvízben lévő szabad kloridionok acélbetét korróziót okozhatnak. Az acélbetét korrózió akkor lép fel, ha az acélbetét felületének környezetében a beton pórusvizének pH-értéke 9 alá esik, vagy ha a beton klorid-tartalma a kritikus értéket átlépi, mert akkor az acélbetét elveszti a korróziótól védő mikroszkopikus vastagságú tömör oxigén rétegét, amelyet passzív rétegnek neveznek (*Palotás*, 1979; *Balázs – Erdélyi – Kovács*, 1991; *Balázs*, 1997).

Kloridkorrózió esetén a vas ionos formában oldódik:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 \cdot e^{-}$$

A folyamat elektron leadással jár, tehát oxidáció, a vas oxidálódik. Az oxidációs folyamatokat az elektrokémiában anódos folyamatnak nevezik. Az anódos folyamat nem csak kloridok hatására, hanem levegő vagy hosszú idejű vízátszivárgás hatására végbemenő karbonátosodás folytán is létre jöhet.

A karbonátosodás azonban nem elektrokémiai lyukkorrózióra, hanem egyenletes kémiai acélbetét korrózióra vezet. A karbonátosodás hatására, amelynek kémiai egyenlete (*Benedix*, 2008): $Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + H_2O$, a cementkő lúgossága csökken. Ha a megsavanyodott zóna eléri a vasalást, akkor az acélbetét felületén a korábbi nagy pH folytán kialakult passzív védőréteg felbomlik, és megindul az acélbetét korróziója.

A vízzel telített vagy víz alatt lévő beton általában lassan karbonátosodik – hacsak a víz nem szénsavas, savanyú víz, amely 1000 mg/liternél több szabad CO_2-ot tartalmaz –, mert a pórusvíz nagyon megnehezíti a gázalakú szén-dioxid behatolását.

A karbonátosodásnak a hátránya mellett előnye is van: a keletkezett nagytérfogatú, nehezen oldódó kalciumkarbonát csökkenti a cementkő porozitását, és növeli a diffúziós ellenállását (*Fischer*, 2013).

A nem karbonátosodott, alkálikus zónában (pH > 9) a kloridionok az acélbeton felületén lévő passzív védőréteget csak helyenként támadják meg, de ha a karbonátosodás eléri az acélbetétet, akkor az acélbetét egyenletes kémiai korrózióját a kloridok meggyorsítják (*Balázs*, 1997).

Kloridionok jelenléte esetén a kloridionokkal az oldatban ment vasionok sósav (HCl) képződése mellett reakcióba lépnek, miáltal az acélfelület egy pontjának (korróziós pont → pontkorrózió → lyukkorrózió) környezete erősen savassá válik (pH ≤ 5):

$$Fe^{2+} + 2 \cdot Cl^- + H_2O \rightarrow Fe(OH)Cl + HCl$$

Az oxidációs (anódos) folyamatot mindig redukció kíséri, mert a képződő elektronokat (e^-) a depolarizátorok (például O_2, H^+-ion, Cl_2) felveszik. A redukciós folyamatokat, amelyek elektron felvétellel járnak, az elektrokémiában katódos folyamatnak nevezik. Az anódos és az katódos folyamat egyidejűleg kell végbemenjen, mert különben a korrózió leáll.

Katódos folyamat az oxigénnek az acélbetét felületén lejátszódó redukciója (*1. ábra*), amelynek során az anódon képződött elektronokat (e^-) a katódon a nagyfelületű oxigénionok kötik le (*Fischer*, 2013):

$$\tfrac{1}{2} \cdot O^{2-} + H_2O + 2 \cdot e^- \rightarrow 2 \cdot (OH)^-$$

Közben az alacsony pH-érték következtében az anódos korróziós pont közelében is katódos reakció játszódik le, amelynek során a hidrolízissel létrejött protonok (H^+) hidrogén képződése mellett redukálódnak, vasoldódással szabaddá vált elektronokat (e^-) vesznek fel (*Fischer*, 2013):

$$2 \cdot H^+ + 2 \cdot e^- \rightarrow H_2$$

Az egymástól független katódos folyamatok (oxigénes és hidrogénes) hatása összegződik. A vas korróziója, azaz anódos oldódása, az oxigén- és hidrogénionok redukcióján (elektron felvételén) keresztül valósul meg. A katódon filmet képező hidrogén lassítja a korrózió sebességét, ezt a hidrogénfilmet az oxigén-képződés megszakítja, miáltal a korrózió sebessége megnő. Végeredményben véletlen eloszlású mély korróziós pontok, lyukak és a környezetükben nagy kiterjedésű katódos részfelületek alakulnak ki. A katód akár méterekre is lehet az anódos korróziós ponttól, míg az anódos korróziós pontok akár össze is nőhetnek (*2. és 3. ábra*). A vas a katódon nem, csak az anódon korrodál.

Az anódon oldatba ment vasionok a pórusvízben lévő hidroxidionokkal reakcióba lépnek, és ferro-hidroxid azaz vas(II)-hidroxid keletkezik (*1. ábra*):

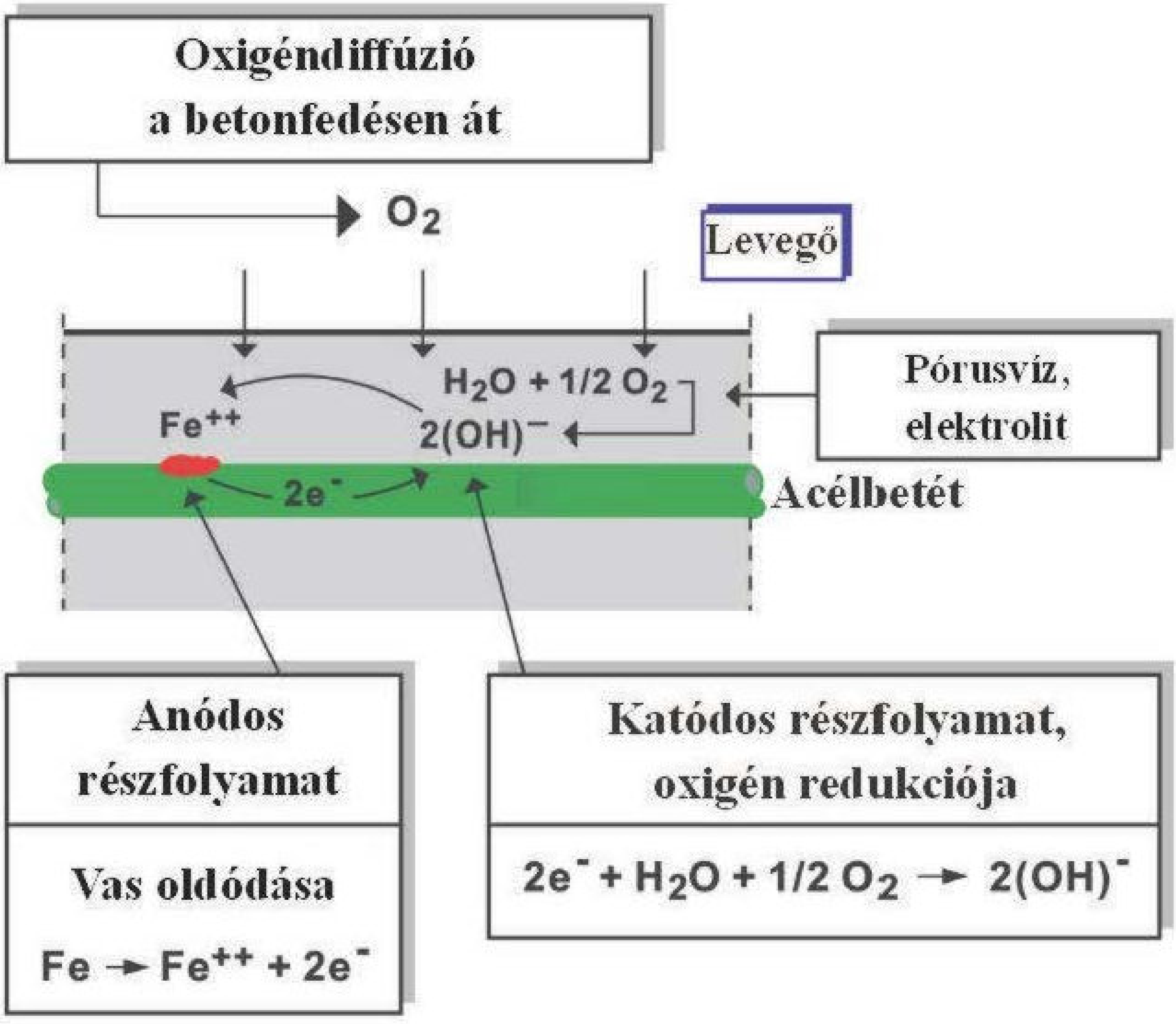
$$Fe^{2+} + 2 \cdot OH^- \rightarrow Fe(OH)_2,$$

amely oxidáció következtében ferri-hidroxiddá, azaz vas(III)-hidroxiddá, barna rozsdává ($FeO(OH)$ vagy $Fe(OH)_3 \cdot Fe_2O_3$) alakul:

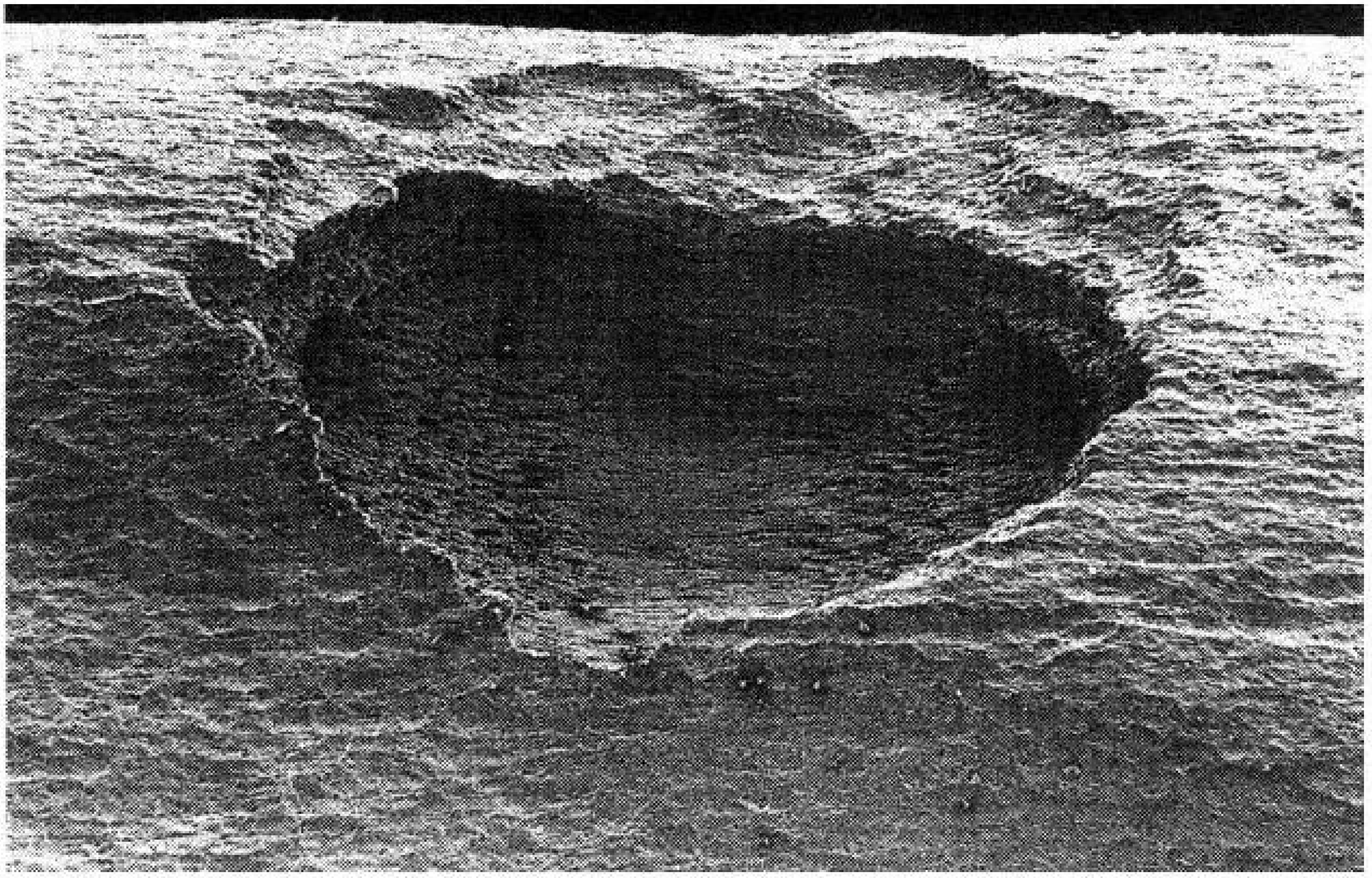
$$4 \cdot Fe(OH)_2 + O_2 \rightarrow 4 \cdot FeO(OH) + 2 \cdot H_2O$$

A rozsda a betonacél felületén rakodik le, de egy része az acélbetétet környező cementkő pórusaiba és a beton repedéseibe – azok tágulását okozva – vándorol (*Fischer*, 2013). A betonacél felületén lerakodó rozsda porózus szerkezetű, és az acélbetét további korrodálódását nem akadályozza meg, térfogata pedig mintegy hatszorosa a vas térfogatának, ezért repesztő hatású.

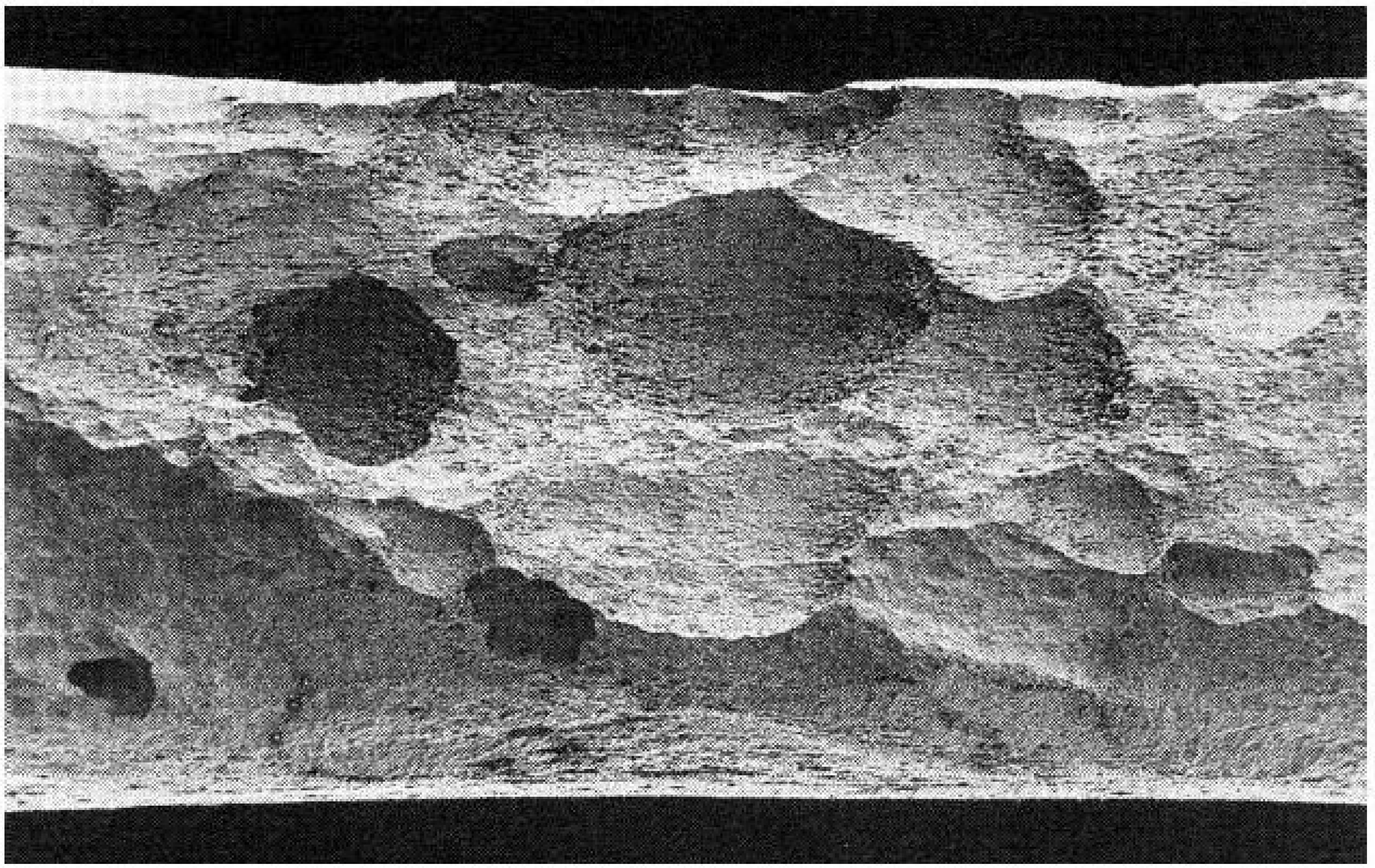
(Megjegyzés: A nemesacélok éppúgy reakcióba lépnek az oxigénnel, mint a normál acélok, miközben oxidréteg képeződik. A rozsdamentes acélok esetén azonban az oxigén nem a vasatomokkal, hanem az acél relatív magas koncentrációban meglévő krómatomjaival lép reakcióba. A króm-, és oxigénatomok egy vastag oxidréteget képeznek, ami megakadályozza a reakció előrehaladását. Ezt az oxidréteget nevezik a környezettel szembeni reakciótehetetlensége miatt passzív rétegnek.)



1. ábra: Acélbetét korróziója. Forrás: *Thienel*, 2011.



2. ábra: Lyukkorrózió elkülönülő korróziós ponttal. Forrás: *Fischer* (2013) *Mürnberger* (1995) után



3. ábra: Lyukkorrózió összenőtt korróziós pontokkal. Forrás: *Fischer* (2013) *Mürnberger* (1995) után

A cementek és kiegészítőanyagok összes klorid és bromid tartalmát kloridionban kifejezve az MSZ EN 196-2:2013 szabvány 4.5.16. szakasza szerint lehet meghatározni.

A kiegészítőanyagok vízoldható halogénion-tartalma (fluor nélkül) az MSZ EN 480-10:2009 szabvány szerint is meghatározható (MSZ 4798:2016).

Az adalékszerek tömegszázalékban kifejezett összes klórtartalmát az MSZ EN ISO 1158:2000, vízoldható halogénion-tartalmát (fluor nélkül) az MSZ EN 480-10:2009 szabvány alapján kell meghatározni.

Németországban az összes klorid-tartalmat a DAfStb (1989) műszaki irányelv szerinti potenciometriás titrálással, vagy közvetlen (direkt) potenciometriával, vagy fotometriával határozzák meg.

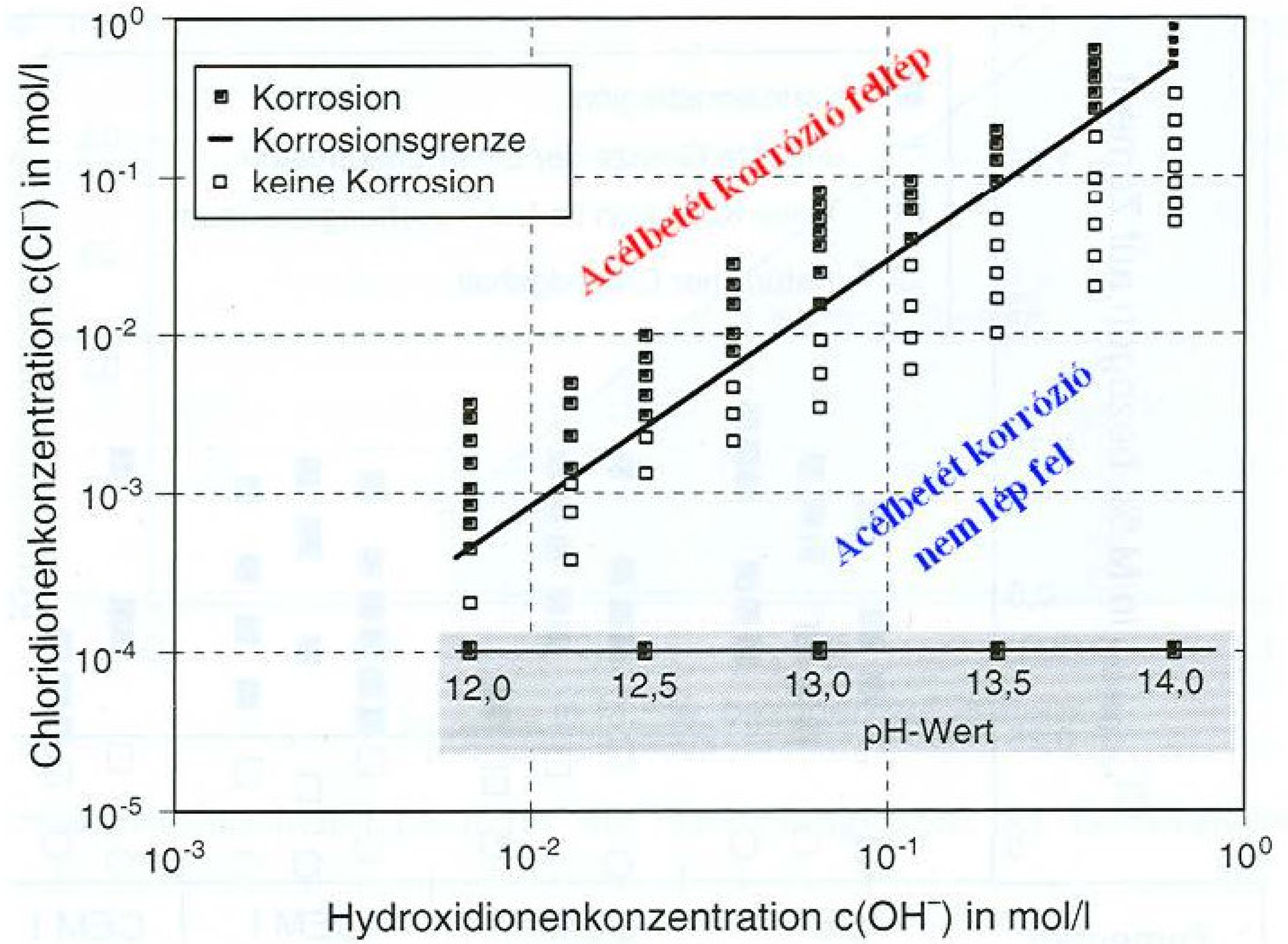
A klorid-tartalom ismerete az acélbetét tényleges korrózióját kiváltó kezdeti, ún. „kritikus klorid-tartalom" megadásához azonban nem elegendő, a „kritikus klorid-tartalom" a pórusvíz kloridion-tartalmával (kloridion-koncentrációjával) a pórusvíz pH-értékének függvényében fejezhető ki (*Stark – Wicht*, 2013). Az acélbetét korrózióját kiváltó kloridion-koncentráció és a hidroxidion-koncentrácó összefüggését *Breit* (1997) a 12-14 pH-tartományra írta fel (*4. ábra*):

$$\log c(Cl^-)_{krit} = 1{,}5 \cdot \log c(OH^-) - 0{,}245$$

ahol:

$c(Cl^-)_{krit}$ acélbetét korrózióját kiváltó kloridion-koncentráció, mol/liter

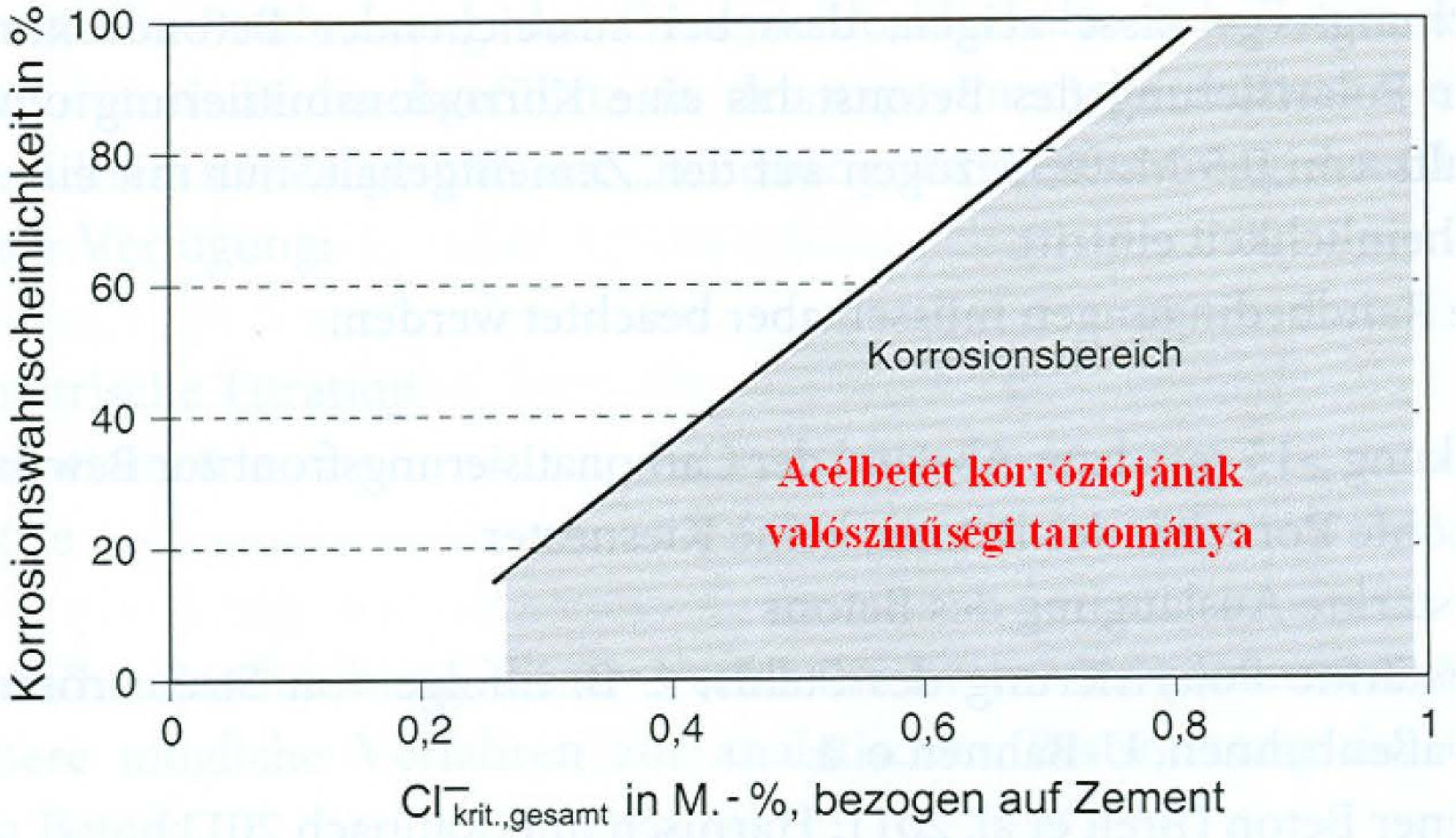
$c(OH^-)$ hidroxidion-koncentráció, mol/liter



4. ábra: Acél kloridkorróziójának (lyukkorróziójának) elektrokémiai vizsgálati eredménye. Az acélbetét korrózióját kiváltó $c(Cl^-)_{knit}$ kloridion-koncentráció a $c(OH^-)$ hidroxidion-koncentráció függvényében (*Breit*, 1997; *Stark – Wicht*, 2013)

A *4. ábrából* kitűnik, hogy a pórusvíz kis pH-értéke (például karbonátosodott beton vagy nagy kiegészítőanyag-tartalom, így nagy szilikapor-tartalom) esetén a „kritikus klorid-tartalom" sokkal kisebb, mint nagy pH-érték esetén.

Breit kísérleteiből arra a következtetésre jutott, hogy az acélbetét (nem a feszítőbetét) korróziójának „kritikus klorid-tartalma" a cement tömegszázalékában kifejezve 0,25 - 0,75 tömeg% közé tehető, és a lyukkorrózió felléptének valószínűsége a cementre vett 0,25 tömeg% klorid-tartalom felett egyre nagyobb (*5. ábra*).



5. ábra: Acélbetét kloridkorróziója (lyukkorróziója) kezdetének, a „kritikus klorid-tartalomnak" a valószínűsége a $Cl^-_{krit,összes}$ kloridion-koncentráció függvényében (*Breit*, 1997; *Stark – Wicht*, 2013)

Betontulajdonságok hatása a klorid-behatolás mértékére

Tapasztalatok szerint a klorid-behatolás általában végértékhez tart, ami ellentmond az időben végtelen diffúziós folyamat elméletének. A klorid-behatolás mélysége (d_{Cl}) a diffúziós együttható (D_{Cl}) és az idő függvénye (*Grübl* et al., 2001):

$$d_{Cl} \sim \sqrt{D_{Cl} \cdot t}$$

A klorid-behatolás végértéke a 20 °C hőmérsékletű nedves levegőn tárolt, tömör betonban a nagy kohósalak-tartalmú kohósalakcementek esetén nem éri el az 50 mm mélységet (*Grübl* et al., 2001).

Stark és *Wicht* (2013) szerint:

- A klorid-behatolás mélysége a feltételektől függően általában a vízfelszívási mélység 40-70%-át éri el.
- A kohósalak- vagy pernye-tartalmú cementek a tiszta portlandcementeknél tömörebb szövetszerkezetet és nagyobb diffúziós ellenállást (kisebb diffúziós együtthatót) eredményeznek (*Springenschmid*, 2007). Különböző irodalmi közlések szerint a beton klorid-diffúziós együtthatójának hozzávetőleges értéke

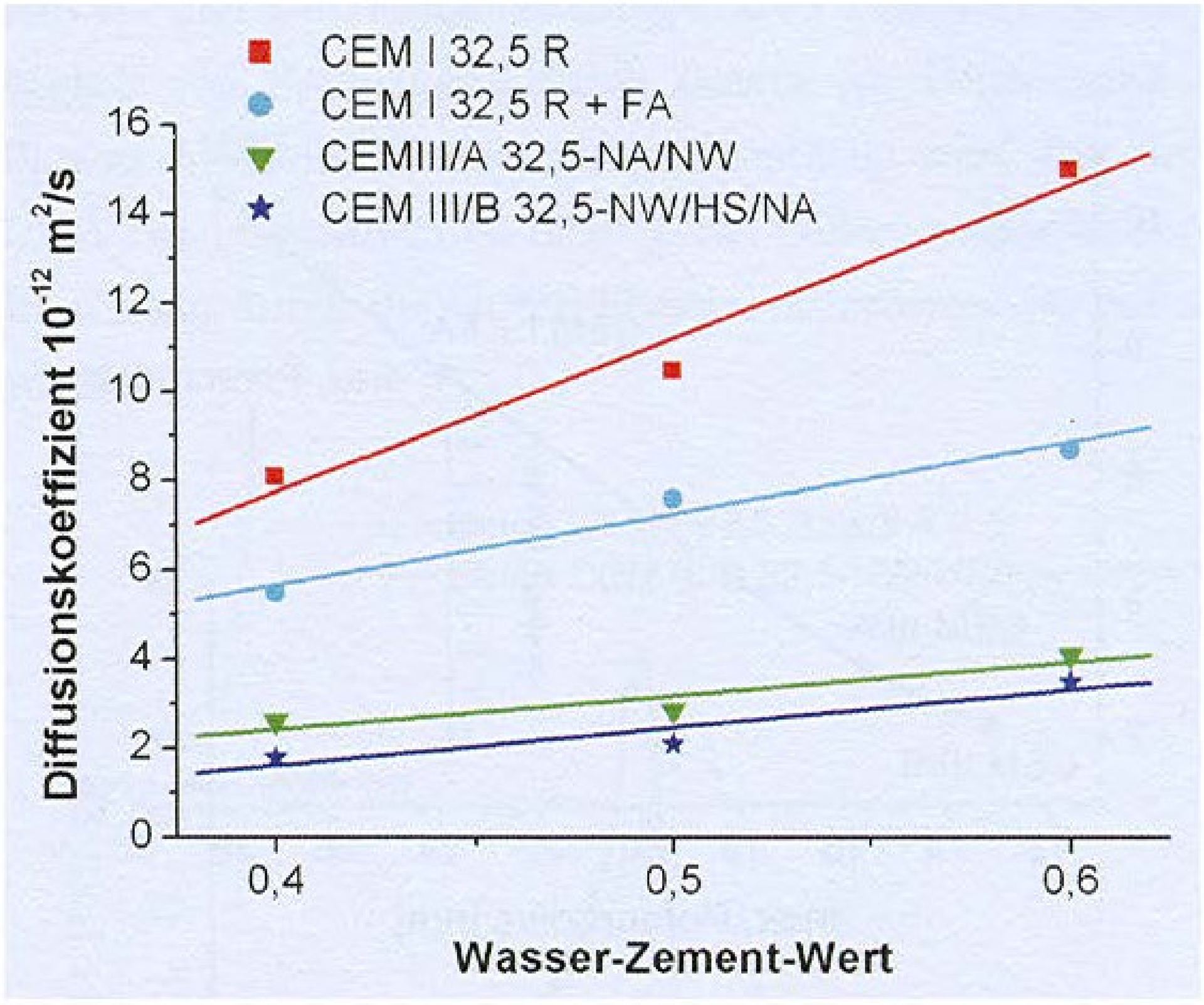
- tiszta portlandcement esetén: $D_{Cl} = 5 \cdot 10^{-11}$ m^2/s
- CEM II/B-S kohósalak-portlandcement esetén: $1{,}5 \cdot 10^{-11}$ m^2/s
- CEM II/B-V pernyeportlandcement esetén: $D_{Cl} = 5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/A kohósalakcement esetén: $2{,}5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/B kohósalakcement esetén: $D_{Cl} = 5 \cdot 10^{-13}$ m^2/s

azaz a heterogén cementek klorid-diffúziós együtthatója a tiszta portlandcement klorid-diffúziós együtthatójának rendre mintegy 0,30-, 0,10-, 0,05-, 0,01-szorosa is lehet. E felsorolásban a sorrend a figyelemre méltó, mert az értékeket és arányokat a víz-cement tényező (*6. ábra*), a pórusszerkezet, a karbonátosodás mértéke, a sófajta, a vizsgálati módszer stb. jelentősen befolyásolja.

Például *Dahme* (2006) $x = 0{,}5$ víz-cement tényezővel, 360 kg/m^3 cementtel (80 kg/m^3 pernye kiegészítőanyag adagolás esetén 328 kg/m^3 cementtel), 16 mm legnagyobb szemnagyságú homokos kavics adalékanyaggal, 2 térfogat% alatti friss beton levegőtartalommal készített betonok esetén a következő klorid-diffúziós együtthatókat mérte:

- CEM I 32,5 R portlandcement esetén: $D_{Cl} = 10{,}5 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM I 32,5 R portlandcement + 24 tömeg% pernye adagolása esetén: $D_{Cl} = 7{,}7 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/A kohósalakcement esetén: $D_{Cl} = 3{,}1 \cdot 10^{-12}$ m^2/s
- CEM III/B kohósalakcement esetén: $D_{Cl} = 2{,}2 \cdot 10^{-12}$ m^2/s

A kohósalakcement klorid-behatolással szembeni nagyobb ellenállása nem csak a tömörebb szövetszerkezetnek, hanem a kohósalakcementkő fokozott adszorpciós (felületi) kloridion-megkötőképességének, és ezzel a diffúzióhoz szükséges koncentráció-gradiens csökkenésének is következménye.



6. ábra: Különböző kötőanyagú, 56 napos korú betonok klorid-diffúziós együtthatója a víz-cement tényező függvényében (*Dahme*, 2006)

Kísérleti eredményeivel *Kopecskó K.* (2006) is igazolta, hogy a kohósalakcement sóállósága lényegesen jobb, mint a portlandcementé.

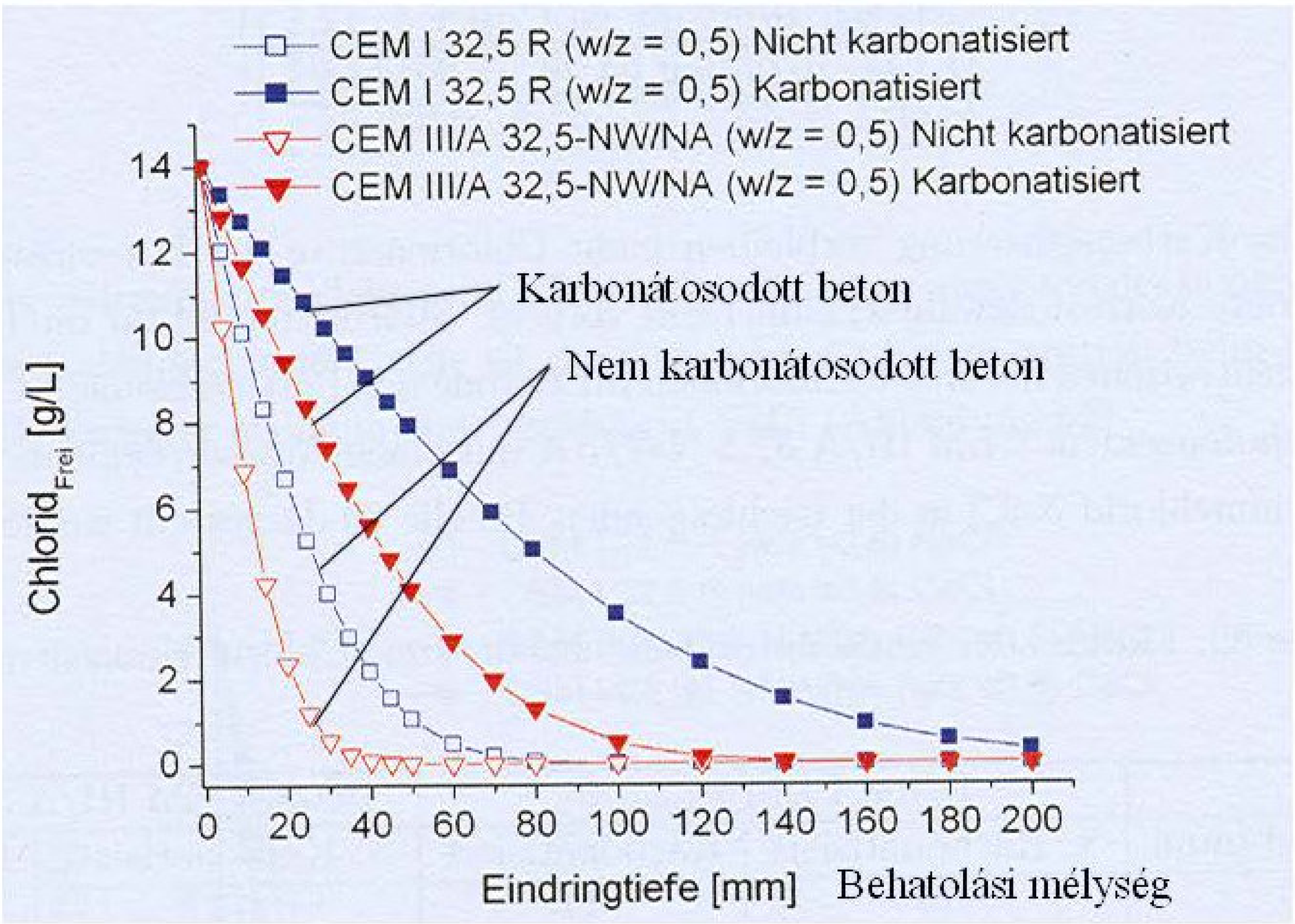
Őrölt granulált kohósalak vagy pernye kiegészítőanyag adagolása portlandcement-betonhoz a szövetszerkezetet – a puccolános reakció folytán képződő kalcium-szilikát-hidrát fázis – tömörebbé teszi. A pernye azért is növeli a beton diffúziós ellenállását, mert a pernye szemcsék felületén vagy annak közelében képződő reakció-termékek a pórusrendszer folytonosságát megtörik. A kapilláris-pórustérfogat számottevően nem csökken, de bizonyos pórusrészek átjárhatósága megszűnik. Ezáltal a kloridion-behatolás a cementkőben lecsökken. Az ajánlott pernyeadagolás legalább 60 kg/m^3 (*Sprinenschmid*, 2007).

A cement-tartalom növelése a klorid-behatolást csökkenti. Adott víz-cement tényező mellett növekvő cement-tartalom a diffúziós együttható csökkenését vonja maga után. Zsaluzott felület közelében nagyobb a péptartalom és kisebb a diffúziós együttható. Hasonlóképpen elképzelhető, hogy az acélbetét felülete mentén feldúsuló péptartalom is fokozott diffúziós ellenállást eredményez az acélbetét körül.

A kisebb víz-cement tényező kisebb porozitást eredményez, és kisebb klorid-behatolást tesz lehetővé (*Erdélyi*, 1998). Ha a 0,6 értékű víz-cement tényezőhöz tartozó diffúziós együttható 100%, akkor a 0,5 értékű víz-cement tényezőhöz mintegy 45%-os, a 0,4 értékű víz-cement tényezőhöz mintegy 20%-os diffúziós együttható tartozik.

- Az adalékanyag szemmegoszlási görbéje a kedvező I. osztályú (A-B) tartományban fusson. Növekvő legnagyobb szemnagysággal növekszik a klorid-behatolási mélység: ha a legnagyobb szemnagyság 8 mm-ről 16 mm-re nő, akkor a klorid mintegy 2,1-szer mélyebbre, ha 32 mm-re nő, akkor mintegy 3,0-szor mélyebbre hatol a betonba.
- A cement hidratációs fokának növekedése, más szóval a szilárduló beton utókezelési idejének növelése csökkenti a klorid-behatolási mélységet.
- Ha a hőmérséklet 15 °C-ról 25 °C-ra növekszik, akkor a diffúziós együttható kétszeresére nő (*Wesche*, 1993). *Kopecskó K.* (2006) PhD. értekezésében megállapította, hogy a gőzölt, megszilárdult betonok az olvasztósó roncsoló hatásának jobban ellenállnak, mint a természetesen szilárdított betonok; és hogy a 90 °C hőmérsékleten végzett gőzölés több kloridiont köt meg a cementkőben, mint a 60 °C-on végzett gőzölés.
- A lehúzott betonfelületen mélyebbre hatolnak a kloridionok, mint a zsaluzott betonfelületen.
- Növekvő repedés-tágassághoz mélyebb klorid-behatolás tartozik. Klorid-behatolás szempontjából a vízszintes felületen lévő repedések a függőleges felületen lévőknél veszélyesebbek. Megfelelően tömör és vastag betonfedés esetén a 0,4 mm-nél kevésbé tág repedések általában nem rontják a beton tartósságát.

A karbonátosodott beton víz és klorid-oldat felszívása a várakozással ellentétben – hiszen porozitása kisebb – gyorsabb, mint a nem karbonátosodott betoné. A jelenség oka valószínűleg a klorid-tartalmú hidratációs fázisok szétesése a karbonátosodás hatására. A szabad kloridionok mennyisége (szabad klorid-koncentráció) a pórusvízben a karbonátosodás mértékével növekszik és a behatolási mélység növekedésével csökken (*7. ábra*).



7. ábra: Szabad klorid mennyisége (szabad klorid-koncentráció) a pórusvízben a karbonátosodás mértéke és a behatolási mélység függvényében (*Dahme*, 2006)

- A szabadban, de esőnek kitett helyen lévő, vízzel telített beton lassabban karbonátosodik, mint az esőtől védett helyen, mert a vízzel telített pórusokba a CO_2-gáz nehezebben vagy egyáltalán nem diffundál. Ebből kifolyólag a víz alatt lévő beton karbonátosodása is nagyon lassú.
- A – például villamos vagy metró forgalom kiváltotta – kóboráram polarizálhatja az acélbetét és feszítőbetétet, ami az acélkorrózió felléptét előmozdítja.

A kalcium-klorid-oldat diffúziós együtthatója mintegy kétszerese, a magnézium-klorid-oldat diffúziós együtthatója mintegy három-négyszerese a nátrium-klorid-oldat diffóziós együtthatójának (*Wesche*, 1993).

Springenschmid (2007) szerint a nagymértékű klorid-behatolás ellen a megfelelő cement alkalmazásán kívül tartósan a következőképpen lehet védekezni, mint például tengeri hídpillérek estén:

- nagyobb betonfedés vagy külső kéreg (Vorsatzschale) alkalmazása;
- $x \leq 0{,}4$ víz-cement tényező alkalmazása;
- nagy kohósalaktartalmú kohósalakcement vagy nagy pernyetartalmú portlandcement alkalmazása;
- kis C_3A-tartalmukra tekintettel kerülni kell a szulfátálló cementek és kishőfejlesztésű cementek alkalmazását;
- vakuumbeton vagy kisebb hatékonysággal ugyan, belső, vízelvezető- vagy vízszívó-réteggel ellátott zsaluzat (Schalungseinlage) alkalmazása;
- hosszabb utókezelési idő alkalmazása, különösen kohósalakcement esetén;
- drága voltuk ellenére kifizetődő lehet a felület-közeli vasalás rozsdamentes betonacélból való készítése. Ajánlott a kloridkorrózionak jól ellenálló 1.4571 és 1.4462 anyagszámú (Werkstoffnummer) hidegen szilárdított X6CrNiMoTi 17-12-2 és X2CrNiMoN 222-5-3 betonacél alkalmazása, amelyet 6-14 mm átmérővel gyártanak;
- előfeszített vasbeton elemek esetén fontos a kloridtartalmú vizek távoltartása a szerkezettől.

Klorid-behatolással és az XD2 környezeti osztállyal kapcsolatos szabályozások

e-UT 07.01.14 (ÚT 2-3.414:2004) útügyi műszaki előírás

Az e-UT 07.01.14 (ÚT 2-3.414:2004) ügyi műszaki előírás M8.1. táblázata szerint az acélbetét korrózionja szempontjából

- a < 700 mg/liter kloridion-tartalmú folyadék nem agresszív,
- a 700-3000 mg/liter közötti kloridion-tartalmú folyadék gyengén agresszív,
- a > 3000 mg/liter kloridion-tartalmú folyadék erősen agresszív.

MSZ EN 1992-1-1:2010 európai szabvány

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának (12) bekezdése szerint, „ha a beton várhatóan fagyási/olvadási vagy kémiai hatásnak lesz kitéve (XF és XA környezeti osztály), akkor a betonösszetételre különös figyelmet kell fordítani (lásd az EN 206-1 szabvány 6. fejezetét). Ilyen esetekben a 4.4. szakasz szerinti betonfedés elegendő.”

Megjegyezzük, hogy ez a rendelkezés elnagyolt, és ebben a formában a betonfedést illetően nem követhető. Kémiai hatás a klorid-hatás is, amelynek kitett betonok az XD1 – XD3, illetve XS1 – XS3 környezeti osztály valamelyikébe sorolandók, amelyeket a szabvány 4.4.N és 4.5.N táblázatában nevesítenek is. A betonfedés szükséges értéke bizonyára nem csak az XD és XS, hanem az XA környezeti osztályok esetén is függ a ható közeg agresszivitásának

mértékétől, az XF környezeti osztályok esetén pedig a fagy- és olvasztósó-hatás jellegétől. A betonfedés mértékét valamennyi, az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabványban fel nem sorolt környezeti osztály, így az XF és XA környezeti osztályok esetén is az MSZ 4798:2016 szabvány szerint kell meghatározni.

MSZ EN 934-1:2008 és MSZ EN 206:2014 európai szabvány

Az MSZ EN 934-1:2008 szabvány 1. táblázata szerint az adalékszer összes klórtartalma legfeljebb 0,1 tömeg%, és vízoldható klorid-tartalma legfeljebb 0,1 tömeg% szabad legyen. Ha az összes klórtartalom vagy a vízoldható klorid-tartalom $\leq$ 0,1 tömeg%, akkor az adalékszert kloridmentesnek szabad megjelölni.

A kloridmentesség fogalmát illetően helytálló a visszavont MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.2.6. szakaszának megfogalmazása is, amely szerint az adalékszer az alkalmazástól függően akkor tekinthető kloridmentesnek,

- ha a halogén elemek mennyisége (a fluort kivéve) az adalékszerben kloridion egyenértékben számolva legfeljebb 0,2 tömeg% vasbeton szerkezet esetén, és legfeljebb 0,1 tömeg% feszített vasbeton szerkezet esetén;
- illetve, ha az adalékszer megengedett legnagyobb adagjának kétszeresét alapul véve az adalékszerrel a betonba a cementre számítva legfeljebb 0,002 tömeg%, azaz legfeljebb 2 g Cl-/(100 kg cement) kloridion kerül.

Az MSZ EN 206:2014 szabvány 15. táblázata értelmében az acélbetéteket tartalmazó friss beton klorid-tartalma a cement tömegszázalékában kifejezve legfeljebb 0,2 tömeg%, a feszítőbetéteket tartalmazó friss beton klorid-tartalma a cement tömegszázalékában kifejezve legfeljebb 0,1 tömeg% legyen, ha a betont nedvesség is éri. A szabvány 5.2.8. szakaszának (2) bekezdése szerint kalcium-kloridot és klorid alapú adalékszereket nem szabad acélbetéteket, előfeszített acélokat vagy más beágyazott fémet tartalmazó betonhoz adagolni.

Az MSZ EN 206:2014 honosított európai szabvány 11. fejezetének (1) bekezdésében példaként szerepel az XD2(F) jel, de a szövegből kiderül, hogy ez nem arra utal, hogy a francia szabvány szerinti XD2 környezeti osztály eltér az európai szabvány szerintitől, hanem azt mutatja be, hogy miként kell a környezeti osztályt jelölni, ha a betont például Franciaországból, a francia előírásokat alkalmazva exportálják. Így érthetővé válik az is, hogy az ILNAS EN 206-1:2000/DNA-LU:2011 luxemburgi nemzeti alkalmazási dokumentumba az XD2(F) helyett miért írtak XD2(L)-t.

A nemzetközileg jóváhagyott gépkocsi-országjel ilyen alkalmazása teljesen eltér a hazai alkalmazástól, amellyel az európai szabványtól eltérő magyar szabályozásra hívjuk fel a figyelmet akkor, ha ilyen van: „Ha a beton MSZ 4798:2016 szabvány szerinti tulajdonsága eltér az MSZ EN 206:2014 szabvány szerinti tulajdonságtól, vagy pótolja az MSZ EN 206:2014 szabványból hiányzó tulajdonságot, akkor az MSZ 4798:2016 szabvány szerint a beton tulajdonságának jelében szerepeltetni kell Magyarország rövidített országnevét zárójelben, például, XA4(H), AC_{50}(H); vagy indexben, például: $f_{ck,cube,H}$.”

Ezek alapján azt kell mondanunk, az MSZ EN 206:2014 szabványban az XD2(F) jelölés szerepeltetése példaként elhibázott és félrevezető, ugyanis a Franciaországból exportált XD2 környezeti osztályú beton nem a francia, hanem az európai előírásokat követi, hiszen a francia szabvány szerinti XD2 környezeti osztály semmiben sem tér el az európai szabvány szerintitől.

NF EN 206/CN:2014 francia szabvány (CN, **C**omplément **N**ational = nemzeti kiegészítés, a francia nemzeti alkalmazási dokumentum jelölése)

Az NF EN 206/CN:2014 francia szabvány, amely az EN 206 szabványnak a francia nemzeti alkalmazási dokumentummal egységes szerkezetbe foglalt változata, 2014 decembere óta érvényes.

Mint fenn említettük, az XD2 környezeti osztály követelményei az NF EN 206/CN:2014 francia szabványban, illetve nemzeti alkalmazási dokumentumában nem térnek el az EN 206:2012 szabványbeli követelményektől, a francia szabvány nemzeti alkalmazási dokumentumában XD2(F) környezeti osztály nem található.

SN EN 206-1/NE:2013 és SIA 262/1:2013 svájci szabvány (NE, **N**ationale **E**lemente = a svájci nemzeti alkalmazási dokumentum jelölése)

A 2014. január 1 óta érvényes svájci SN EN 206-1/NE:2013 szabvány az EN 206 szabványnak a svájci nemzeti alkalmazási dokumentummal egységes szerkezetbe foglalt változata.

Az SN EN 206-1/NE:2013 szabvány az XD2 környezeti osztályt két környezeti osztályra, az XD2a(CH) és az XD2b(CH) környezeti osztályra osztja, és ezt követi a SIA 262:2013 svájci szabvány is. Az SN EN 206-1/NE:2013 szabvány az európai szabvány 4.1 szakaszához nemzeti függeléket (NA, **N**ationaler **A**nhang) csatol (4.1/NA), amely szerint az XD2a(CH) környezeti osztályba azok a betonok tartoznak, amelyek környezetében a kloridtartalom $\leq$ 500 mg/liter (édesvíz), az XD2b(CH) környezeti osztályba pedig azok a betonok, amelyek környezetében a kloridtartalom tartósan > 500 mg/liter (sós víz). Az XD2a(CH) környezeti osztályt kell alkalmazni például az uszodák többsége, az XD2b(CH) környezeti osztályt például a sós fürdők vagy kloridtartalmú ipari szennyvizekkel érintkező szerkezeti elemek esetén.

Az XD2 környezeti osztály kettéosztása voltaképpen azt jelenti, hogy Svájcban az XD2a(CH) környezeti osztályú betonokra az XD1 környezeti osztály, az XD2b(CH) környezeti osztályú betonokra az XD3 környezeti osztály követelményei vonatkoznak (a megengedett legnagyobb víz-cement tényező az eredeti kettéosztott XD2 környezeti osztályhoz tartozó 0,50 helyett 0,45). Ennek következtében az SN EN 206-1/NE:2013 szabványnak a környezeti osztályok követelményeit bemutató NA.2 táblázatában XD2(CH) környezeti osztály nem is található.

A svájci betonszabványban valamennyi XD környezeti osztályú beton készítéséhez – így az XD2(CH) környezeti osztályú beton készítéséhez is – csak a CEM II/B-LL mészkőportlandcement alkalmazását tiltják meg, de az XD2(CH) és XD3 környezeti osztály esetén előírják a SIA 262/1:2013 szabvány B melléklete szerinti CW (Chloridwiderstand) klorid-migráció vizsgálat elvégzését.

Az SN EN 206-1/NE:2013 szabvány NA.9 táblázata szerint

- az XD1 és XD2a(CH) környezeti osztályban a SIA 262/1:2013 szabvány I melléklete szerint vizsgált karbonátosodási tényező
  - átlag értéke $K_N \leq 5{,}0$ mm/√év, legnagyobb értéke $K_N \leq 5{,}5$ mm/√év legyen, ha a beton tervezési élettartama 50 és a társított környezeti osztály XC3 vagy XC4;
  - átlag értéke $K_N \leq 4{,}0$ mm/√év, legnagyobb értéke $K_N \leq 4{,}5$ mm/√év legyen, ha a beton tervezési élettartama 100 és a társított környezeti osztály XC3;
  - átlag értéke $K_N \leq 4{,}5$ mm/√év, legnagyobb értéke $K_N \leq 5{,}0$ mm/√év legyen, ha a beton tervezési élettartama 100 és a társított környezeti osztály XC4;

- az XD2b(CH) és XD3 környezeti osztályban a SIA 262/1:2013 szabvány B melléklete szerint vizsgált klorid-migrációs tényező átlag értéke $D_{cl} \leq 10 \cdot 10^{-12}$ m^2/s, legnagyobb értéke $D_{cl} \leq 13 \cdot 10^{-12}$ m^2/s legyen.

Megjegyzés: A klorid-migráció és a klorid-diffúzió az ionokat mozgató erő szempontjából nem feltétlenül ugyanaz a jelenség (*Qiang Yuan*, 1995-1999).

Ha a víz kloridtartalma (Cl^-) > 500 mg/liter, azaz a beton az XD2b(CH) környezeti osztályba tartozik, akkor a SIA 262:2013 svájci szabványban vasbeton esetén legalább 55 mm, feszített vasbeton esetén legalább 65 mm c_{nom} névleges betonfedést írnak elő, amely 5 mm-rel több, mint az S4 szerkezeti osztályban az MSZ EN 1992-1-1:2010, illetve az MSZ 4798:2016 szerinti XD2 környezeti osztályban alkalmazandó c_{nom} névleges betonfedés. Ugyanez a betonfedés szerepel a Cemsuisse-Merkblatt MB 02:2016 svájci műszaki irányelvben is.

Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 svájci műszaki irányelv

A svájci Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv 4.3.1 szakasza szerint az XAA(CH) környezeti osztályban csak az XD3(CH) környezeti osztályban engedélyezett cementfajták alkalmazhatók. Ha a betont fagy és fagy-olvasztó só hatás is éri, akkor csak az SN EN 206-1:2006 szabvány NA.3 táblázatának szóban forgó XF környezeti osztályában engedélyezett cementfajtákat szabad felhasználni. Ha a szennyvíz átlagos szulfát-tartalma (SO_4^{2-}) nagyobb, mint 600 mg/liter, akkor az SN EN 197-1:2011 szabvány szerinti nagy szulfátállóságú cementtel kell a betont készíteni.

DIN 4030-1:2008 német szabvány

A DIN 4030-1:2008 szabvány bevezetése szerint a klorid-behatolás csökkenti a betonfedés acélbetét-korrózióvédő hatását. Az oxigénhiányos és száraz környezetben a kritikus értéknél nagyobb kloridtartalom sem okoz acélbetét korróziót, és ez a megállapítás az oxigénhiányra tekintettel a tartósan víz alatt lévő betonokra is érvényes. A kloridok szilárd betonba való behatolásának sebessége a behatoló oldat kloridtartalmán kívül a beton tömörségének a függvénye. A beton – az acélbetét korrózióját okozó – kritikus kloridtartalma a környezeti feltételektől, a beton összetételétől és tömörségétől függően tág határok között ingadozhat. A repedések környezetében nagyobb az acélbetét korróziójának veszélye, különösen akkor, ha a repedéseken keresztül kloridtartalmú víz folyik az acélbetéthez, például parkolóházak födémeinek egyenlőtlen keresztmetszeti hőmérséklet okozta, korai, felületi vagy átmenő hasadási repedésein – Spaltrisse (*Grübl* et al., 2001) vagy más néven, főképp, ha a repedés átmenő és a keresztmetszet mentén egyenletes tágasságú, ún. H-alakú: Trennrisse (*Springenschmid*, 2007) – keresztül.

A szabvány 5.2.2 szakaszának (4) bekezdése szerint a természetes vizekben előforduló kloridok a betont kémiailag nem támadják meg.

A DIN 4030-1:2008 szabvány 4. táblázata azonos az MSZ EN 206:2014 szabvány 2. táblázatával, illetve ennek forrása.

A DIN 4030-2:2008 szabvány a természetes vizek és talajok klorid-tartalmának meghatározásával is foglalkozik.

Corrosion Guidelines. Version 2.1". Caltrans, kaliforniai műszaki irányelv, 2015.

A Kaliforniai Közlekedési Minisztérium mérnöki anyagok és vizsgálatok szolgálatának korróziós műszaki irányelve szerint

- a vasbeton szerkezetekre nézve korróziós veszélyt jelent, ha a talaj és/vagy talajvíz klorid-koncentrációja az 500 mg/liter, szulfát-koncentrációja a 2000 mg/liter értéket eléri, vagy pH-ja az 5,5 érték alá csökken. A sós vizek, talajok vagy jégmentesítő sók kloridionjai az acélbetét felületén lebontják a passzív oxid-réteget (6.1. szakasz);
- az alapok és geotechnikai szerkezetek betonfedésének tervezése során a legalább 500 mg/liter klorid-koncentrációjú víz hatását nem csak akkor kell figyelembe venni, ha a betonnal érintkezik, hanem már akkor is, ha attól legfeljebb 305 m (1000 ft, láb) távolságra van (például tengerparton vagy apály-dagály esetén, 7.2. szakasz);
- a mechanikailag stabilizált töltések, gátak (MSE, Mechanically Stabilized Embankment) anyagának klorid-koncentrációja kisebb kell legyen, mint 250 mg/liter (8.1 szakasz;
- az acélbetét korróziója szempontjából nem veszélyes, ha a megszilárdult beton klorid-tartalma < 700 mg/liter; veszélyes, ha 700 – 1800 mg/liter; igen veszélyes, ha > 1800 mg/liter (11.3. szakasz, 11.1 táblázat);
- az epoxi-gyantával bevont betonacél (ECR, Epoxy-coated Reinforcing Steel) lila vagy szürke színű változata alkalmas az 500 mg/liter feletti klorid-koncentrációjú vízzel közvetlenül érintkező vasbetonok vasalására. Az epoxi-gyantával bevont betonacélt általában nem alkalmazzák, ha csak a talaj agresszív (12.2. szaksz).

Javaslat az MSZ 4798:2016 szabvány XD2(H) környezeti osztályának feltételeire és követelményeire

Az agresszív vízzel (talajvízzel, egyéb természetes vízzel, szennyvízzel vagy egyéb agresszív folyadékkal) érintkező vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezet betonját akkor kell XD2 környezeti osztályba sorolni, ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 500 mg/liter.

Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 500 mg/liter és ≤ 1000 mg/liter közé esik, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
  - vagy legalább CEM III/A fajtájú kohósalakcement legyen,
  - vagy CEM II/B-M(S-V) fajtájú kompozit-portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó;
- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
  - vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement legyen,
  - vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó.

Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 1000 mg/liter, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
  - vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement legyen,
  - vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó;

- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement legyen,
    - vagy CEM II/B-V fajtájú pernyeportlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó.

Ha a > 500 mg/liter és ≤ 1000 mg/liter közötti kloridtartalmú agresszív víznek ≥ 200 mg/liter szulfáttartalma (SO_4^{2-}) is van, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM I-SR 3 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó,
    - vagy CEM I-SR 3 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó,
    - vagy CEM III/B-SR azulfátálló kohósalakcement legyen.
- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó,
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó,

Ha a > 1000 mg/liter kloridtartalmú agresszív víznek ≥ 200 mg/liter szulfáttartalma (SO_4^{2-}) is van, akkor

- a vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 11 tömeg% szilikapor adagolandó,
    - vagy CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó,
- a feszített vasbeton szerkezet betonjának kötőanyaga
    - CEM I-SR 0 szulfátálló portlandcement legyen, amelyhez a cementtartalomra vett legfeljebb 20 tömeg% pernye adagolandó.

1. MEGJEGYZÉS: A kötőanyagkeverék (cement és külön adagolt kiegészítőanyag) szabványos szilárdságát mindig ellenőrizni kell.

2. MEGJEGYZÉS: A talajvíz és természetes víz kloridtartalmát az MSZ 18094-11:1979 szerint, a szennyvizek és egyéb agresszív vizek kloridtartalmát az MSZ 260-6:1977 vagy az MSZ EN ISO 10304-1:2009 szerint kell meghatározni.

3. MEGJEGYZÉS: A CEM III/B fajtájú nagy kohósalakcement jó kloridzáró és jó szulfátálló, de lassúbb szilárdulása miatt mérlegelni kell, hogy alkalmazásával érdemes-e XD2 környezeti osztályú feszített vasbeton szerkezetet készíteni.

4. MEGJEGYZÉS: Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 1500 mg/liter, akkor a cementekre vonatkozó fenti előírások betartásán kívül célszerű az XD2 környezeti osztályhoz tartozó legkisebb betonfedés ($c_{min,dur}$) helyett az XD3 környezeti osztályhoz tartozó legkisebb betonfedést alkalmazni (NAD N1. és NAD N2. táblázat).

5. MEGJEGYZÉS: Ha az agresszív víz kloridtartalma (Cl^-) > 3000 mg/liter, akkor a cementekre vonatkozó fenti előírások betartásán kívül a vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezetet célszerű XD2 - XV3(H) társított környezeti osztályú vízzáró betonból készíteni, vagy az XD2 környezeti osztályú szerkezetet vízzáró és kémiai korrózionak is ellenálló szigeteléssel ellátni.

Hivatkozások

Szabványok, előírások, irányelvek, rendelet

2001/2001. (X. 25.) Korm. rendelet „az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről”

Bundesanstalt für Wasserbau. „Merkblatt: Chlorideindringwiderstand”. Német műszaki irányelv. Karlsruhe – Hamburg – Ilmenau, 2004.

Cemsuisse-Merkblatt MB 01:2010 „Betonerosion in Biologiebecken von Abwasserreinungsanlagen”. Svájci műszaki irányelv. Verband der Schweizerischen Cementindustrie. Bern, 2010

Cemsuisse-Merkblatt MB 02:2016 „Merkblatt für Sichtbetonbauten”. Svájci műszaki irányelv. Verband der Schweizerischen Cementindustrie. Bern, 2016

„Corrosion Guidelines. Version 2.1”. Caltrans, California Department of Transportation, Division of Engineering Services, Materials Engineering and Testing Services, Corrosion and Structural Concrete Field Investigation Branch. Sacramento, California, USA, 2015.

DAfStb „Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehalts von Beton”. Deutschen Ausschluss für Stahlbeton. Heft 401. Beuth Verlag GmbH. Berlin – Wien – Zürich, 1989.

DBV-Merkblatt. „Chemischer Angriff auf Betonbauwerke. Bewertung des Angriffsgrads und geeignete Schutzprinzipien”. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. Berlin, 2014. Német műszaki irányelv

DIN 4030-1:2008 „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte”

DIN 4030-2:2008 „Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben”

EN 206:2013 „Concrete. Specification, performance, production and conformity”

ILNAS EN 206-1:2000/DNA-LU:2011 „Beton. Teil: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Luxemburgisches Nationales Anwendungsdokument”

MSZ 260-6:1977 „Szennyvizek vizsgálata. Kloridion meghatározása”

MSZ 4798-1:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon”

MSZ 4798:2016 „Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon”

MSZ 18094-11:1979 „Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj és a talajvíz klorid-ion tartalmának meghatározása”

MSZ EN 196-2:2013 „Cementvizsgálati módszerek. 2. rész: A cement kémiai elemzése”

MSZ EN 206:2014 „Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség”

MSZ EN 480-10:2009 „Adalékszer betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 10. rész: A vízoldható kloridtartalom meghatározása”

MSZ EN 934-1:2008 „Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 1. rész: Közös követelmények”

MSZ EN 1992-1-1:2010 „Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”

MSZ EN ISO 1158:2000 „Műanyagok. A vinil-klorid homopolimer és kopolimer klórtartalmának meghatározása”

MSZ EN ISO 10304-1:2009 „Vízminőség. Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása” (ISO 10304-1:2007)

NT Build 492:2000 „Nordtest. CTH Rapid Test for Determination of D in Concrete”.

NF EN 206/CN:2014 „Béton. Spécification, performance, production et conformité. Complément national à la norme NF EN 206”

SIA 262/1:2013 „Betonbau. Ergänzende Festlegungen”. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. Svájci szabvány

SN EN 206-1/NE:2013 „Beton. Festigung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität”

e-UT 07.01.14 (ÚT 2-3.414:2004) „Közúti hidak tervezési előírásai IV. Beton, vasbeton és feszített vasbeton közúti hidak tervezése”. Útügyi műszaki előírás

Irodalom

Bajnóczy Gábor: Fémek korróziója
http://kkft.bme.hu/sites/default/files/KORR%C3%93ZI%C3%93%20LAB.doc

Balázs Gy. – Erdélyi A. – Kovács K.: „A betonacél korróziója kloridok hatására”. Építőanyag, 43. évfolyam, 1991. 6. szám. pp. 202-218.

Balázs Gy.: „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok”. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 1997.

Biczók I.: „Betonkorrosion – Betonschutz”. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1960.

Benedix, R.: „Bauchemie. Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Atchitekten”. 4. Auflage. Vieweg+Teubner. Wiesbaden, 2008.

Breit, W.: „Untersuchungen zum kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt für Stahl in Beton”. Aachener Beitr. Bauforsch. ABBF, Bd. 8. Inst. Bauforsch. RWTH. Aachen, 1997.

Dahme, U.: „Chlorid in karbonatisierendem Beton. Speicher- und Transportmechanismen”. Dissertation, Mitteilungen aus dem Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität Duisburg–Essen. Cuvillier Verlag. Göttingen, 2006.

Erdélyi A.: „Nagyteljesítményű cementpépek tartóssága kloridoldatban”. Beton, 1998. április, pp. 8-9.

Fischer, Christian: „Auswirkungen der Bewehrungskorrosion auf den Verbund zwischen Stahl und Beton”. Serie: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 608. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Beuth. Berlin, 2013.

Grübl, P. – Weigler, H. – Karl, S.: „Beton. Arten, Herstellung und Eigenschaften”. Ernst & Sohn Verlag GmbH. Berlin, 2001.

Kopecskó K.: „A gőzölés hatása a cement klinkerek és cementek kloridion megkötő képességére”. PhD. értekezés. BME. Budapest, 2006.

Lohmeyer, G. – Ebeling, K.: „Weiße Wannen – einfach und sicher”. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf, 2009.

Nürnberger, U.: „Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen. Band 1: Grundlagen, Betonbau”. Bauverlag GmbH. Wiesbaden, Berlin, 1995.

Qiang Yuan: „The relationship between chloride diffusion and migration coefficients in concrete”. NT Build 492 (1999-11), NT Build 355 (1997-11), NT Building 443 (1995-11).

Palotás L.: „Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Fa-Kő-Fém-Kötőanyagok”. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

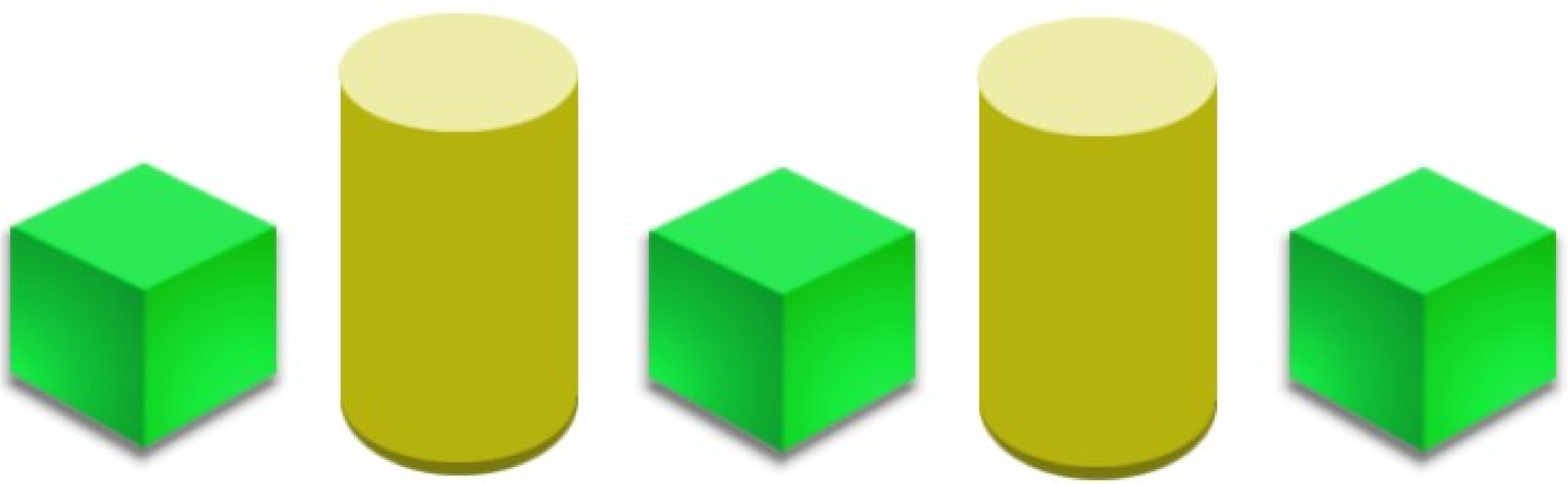
Rendchen, K. et al.: „Hüttensandhaltiger Zement. Verkehrsbau – Wasserbau – Kanalisation”. Verlag Bau+Technik. Düsseldorf, 2002.

Springenschmid, R.: „Betontechnologie für die Praxis”. Bauwerk Verlag GmbH. Berlin, 2007.

Stark, J. – Wicht, B.: „Dauerhaftigkeit von Beton”. Springer Verlag. Berlin – Heidelberg, 2013.

Thienel, K.-Ch.: „Werkstoffe des Bauwesens Dauerhaftigkeit von Beton”. Institut für Werkstoffe des Bauwesens Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Bundeswehr Universität München, 2011.

Wesche, K.: „Baustoffe für tragende Bauteile. Band 2: Beton, Mauerwerk (Nichtmetallisch-anorganische Stoffe) Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, Dauerhaftigkeit”. 3. Auflage. Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin, 1933.



AZ ACÉLGYÁRTÁS TERMÉKEINEK (ÉS MELLÉKTERMÉKEINEK) RÖVID ISMERTETÉSE

Vasérc

Vasércnek az olyan vastartalmú kőzeteket (vaskőzeteket) nevezzük, amelyekben a vastartalmú ásványok koncentrációja már olyan magas fokú (legalább 25 tömeg%), hogy azokat kohászati úton érdemes feldolgozni. A vasérc-féleségek a vas- és acélgyártás kiindulási nyersanyagai, amelyek közül a legfontosabbak: hematit (vörösvasérc), magnetit (mágnesvasérc), limonit (barnavasérc), sziderit (pátvasérc), fayalit (szilikátos vasérc).

Magyarország vasércben szegény, művelésre egyedül a rudabányai előfordulás volt érdemes, amelynek vastartalma 24 – 36 tömeg%. A Rudabányai-hegység egész Európa egyik legrégibb bányahelye volt. Több jel mutat arra, hogy a szlávok már a honfoglalás előtt élénk bányászati és kohászati tevékenységet folytattak Rudabányán és környékén; Ruda szláv szó, magyar jelentése „érc, vasérc, vörös vasas föld". A rudabányai bányászat újabbkori fellendülésének éve 1880, amikor a lelőhely korszerű kiaknázása nagyüzemi módszerekkel, külszíni fejtéssel megkezdődött. A vasércbányászatot és –dúsítást Rudabányán — bár az ásványvagyon még nem fogyott teljesen el — 1985. december 31-ével szüntették meg. 1948-től idáig csaknem 19 millió, a 105 év alatt összesen körülbelül 34 millió tonna volt a kitermelt vasércmennyiség.

Megjegyzendő, hogy a bányászat több évezredes hagyománya mégsem szűnt meg a vidéken: 1987 óta külszíni gipsztermelés folyik a Rudabánya közelében levő Alsótelekes mellett, az 1960-as évek elején feltárt lelőhelyen, hazánk egyetlen művelésre érdemes előfordulásán. Évente 240.000 tonna nyers-gipszet fejtenek, amely teljes egészében fedezi a magyar cementgyárak szükségletét. A volt rudabányai vasércdúsító helyén létesített égetőüzemben finomgipszet állítanak elő (18.000 tonna/év), és gipszvakolatot is gyártanak. A gipszbánya ásványvagyona a kiaknázás jelenlegi szintjén évtizedekre elegendőnek látszik.

Nyersvas

A nyersvasat vasércből, **nagyolvasztó kohóban** állítják elő. Az előkészített (meddőtlenített, aprított, osztályozott, kevert, pörkölt stb.) vasércet koksszal és olvadáspontot csökkentő hozaganyaggal* helyezik a kohóba. Az olvadáspont csökkentő, salakképző hozaganyag rendszerint mészkő, dolomit, bauxit. A

kohóból kikerülő nyersvas egy vasötvözet, amelynek széntartalma 2,5 - 5,0 tömeg%, és amely rendszerint 1 - 4 tömeg%-ban tartalmaz szennyezőket: mangánt, szilíciumot, ként, foszfort stb. A nyersvas-termelésnek kb. 10 - 15 tömeg%-át *öntödei célokra* használják fel, a többiből *acélt* gyártanak.

* Megjegyzés: A hozaganyag olvadáspont csökkentő szerepéhez hasonlítható például az utak téli jég- (csúszás-)mentesítéséhez használt olvasztósó hatása, amely a jég olvadási hőmérsékletét, vagy az üveggyártásnál nátrium-karbonáttal (szódával) bevitt nátrium-oxid hatása, amely az üvegolvadék olvadási hőmérsékletét csökkenti. Az ilyen folyékony oldatok neve: eutektikum.

Kohósalak

A kohósalak a nyersvas előállításakor keletkező szilikátolvadék (***nyersvas-gyártási* melléktermék**).

Ha a forró, tűzfolyós kohósalak-olvadékot gyorsan hűtik le, akkor szemcsés szerkezetű, nagyrészt üveges állapotú, ún. *granulált kohósalak* keletkezik, amelynek rejtett hidraulikus tulajdonsága van. A granulált kohósalak finomra őrölve, és gerjesztőkkel (portlandcement, mészhidrát, őrölt égetett mész), valamint vízzel keverve, vagy portlandklinkerrel, égetett darabos mésszel, égetett dolomittal, anhidrittel együtt finomra őrölve, és vízzel keverve, víz alatt is megszilárduló kötőanyaggá válik (kohósalak-portlandcement, kohósalak-cement).

Ha a folyékony nagyolvasztó salakot 1 - 7 cm vastagságú rétegekben nagyméretű ágyba öntik, és egyenletesen, lassan (8 - 10 nap) hagyják lehűlni, akkor *darabos kohósalakot* nyernek. Ennek szerkezete tömör, és a hűtés során az önsúly-nyomás hatására átkristályosodik. Belőle töréssel, osztályozással feltöltési anyag, szórt útalap, út és vasúti felépítményi kohósalakkő, beton-adalékanyag állítható elő. Ha a forró, folyékony kohósalakot egyenletesen eloszlatva, perforált, habosító tálcára juttatják, és a perforált falon át 4 - 5 atü nyomással vizet nyomnak, akkor a vízsugár a beömlő forró salakkal érintkezve gőzzé válik, és a salakot habosítja. A még izzó, de már habosított salak a hűtőtérre kerül, ahol lassan hűlve átkristályosodik. Ez a *habosított kohósalak*, amely törve és osztályozva hőszigetelő anyagként, vízszűrő anyagként; könnyűbeton-adalékanyagként hasznosítható.

Öntöttvas és öntöttacél

Öntödei termék a nyersvasból előállított öntöttvas és öntöttacél. Az öntöttvas széntartalma több, mint 2,06 tömeg%, míg az öntöttacél széntartalma legfeljebb 2,06 tömeg%. Az öntöttvasból például szürkevas-öntvényeket gyártanak, az építőiparban szerkezeti anyagként ridegsége, kis húzószilárdsága miatt ma már nem igen használják. (Az első budapesti Lánchíd kereszttartói öntöttvasból készültek.) Az öntöttvas fajták esetén különbséget kell tenni a húzószilárdság és az annál jóval nagyobb nyomószilárdság között (vesd össze az acélok szilárdságával kapcsolatos megjegyzéssel). Az öntöttacélból nagyszilárdságú acélöntvényeket, például tartószerkezetekhez sarukat, csuklókat gyártanak. Bár a 2,06 tömeg%-nál kisebb széntartalmú vasfajtákat acéloknak nevezik, az öntöttacélt nem szokás a tulajdonképpeni acélok közé sorolni.

Acél (melegen hengerelt és hidegen húzott)

Az acélt nyersvasból gyártják. Az acélgyártásnak többféle módja van:

- **Konverteres** (konverter = a nyersvas hevítésére használt körte vagy henger alakú tartály) **eljárások**, például Bessemer-, Thomas-eljárás, amelyekkel csak speciális összetételű nyersvasakat lehet feldolgozni;
- **Martin-eljárás** (**Siemens-Martin eljárás**), amely a nyersvas összetételére nem kényes. A Martin-kemence váltakozó lángjárású gázkemence. (A Siemens-Martin eljárást fokozatosan korszerűbb acélgyártási módszerek váltják fel.)

Az építőipari acélok széntartalma kevesebb, mint 1,7 tömeg%. Főbb csoportosításuk az alakítás, a tulajdonságok, a felhasználás szerint a következő:

- Melegen hengerelt szerkezeti acél;
- Hegeszthető betonacél
    - melegen hengerelt és hengerléssel együtt bordázott betonacél, tényleges folyáshatárral,
    - melegen hengerelt és utána hidegen bordázott betonacél, tényleges folyáshatárral,
    - hidegen hengerelt vagy hidegen húzott és így bordázott

betonacél, 0,2 %-os egyezményes folyáshatárral;

- Hidegen húzott feszítőacélok (feszítőhuzal, feszítőpászma);
- Melegen hengerelt feszítőacél (feszítőrúd).

Az építőipari acélok tulajdonságait külön file-ban tárgyaljuk, de már itt megemlítjük, hogy az acélok nyomódiagramja hasonló a húzódiagramjukhoz, de a nyomószilárdság a húzószilárdságnál valamivel nagyobb, ezért a húzószilárdságot tekintik mértékadónak, és a nyomószilárdságot nem vizsgálják (vesd össze az öntöttvasnál mondottakkal). Ez a gyakorlat a betonacélok és a feszítőacélok esetén annál is indokoltabb, hiszen ezeket az acélfajtákat húzásra vesszük igénybe.

Siemens-Martin salak

A ***Martin-salak*** (**Siemens-Martin salak**) a Martin-eljárás szerinti acélgyártás során keletkezik, tehát ***acél-gyártási* melléktermék.** A Martin-salak sokkal több szennyező anyagot tartalmaz, mint a kohósalak, a kétféle salak között összetétele és eltérő tulajdonságai folytán éles különbséget kell tenni. Például az ózdi Martin-salakot sajnos az 1990-es évek elején felhasználták beton-adalékanyagként, de mint ilyen, az néhány év alatt a beton tönkremenetelét okozta. Ennek oka az volt, hogy az ózdi Martin-acélsalak szabad magnézium-oxidot (periklászt) tartalmaz, amely nedvesség (a levegő páratartalma) hatására a betonban lassan beoltódik, és dolomit-mészhidráttá (brucittá) átalakulva térfogatát kétszeresére növeli, és a megszilárdult betont összerepeszti. A betont a Martin-salak kéntartalma is károsíthatja.

KÉRJÜK TEKINTSE MEG AZ „ACÉL HÚZÓSZILÁRDSÁGA ÉS ALAKVÁLTOZÁSA” CÍMŰ OLDALUNKAT IS.

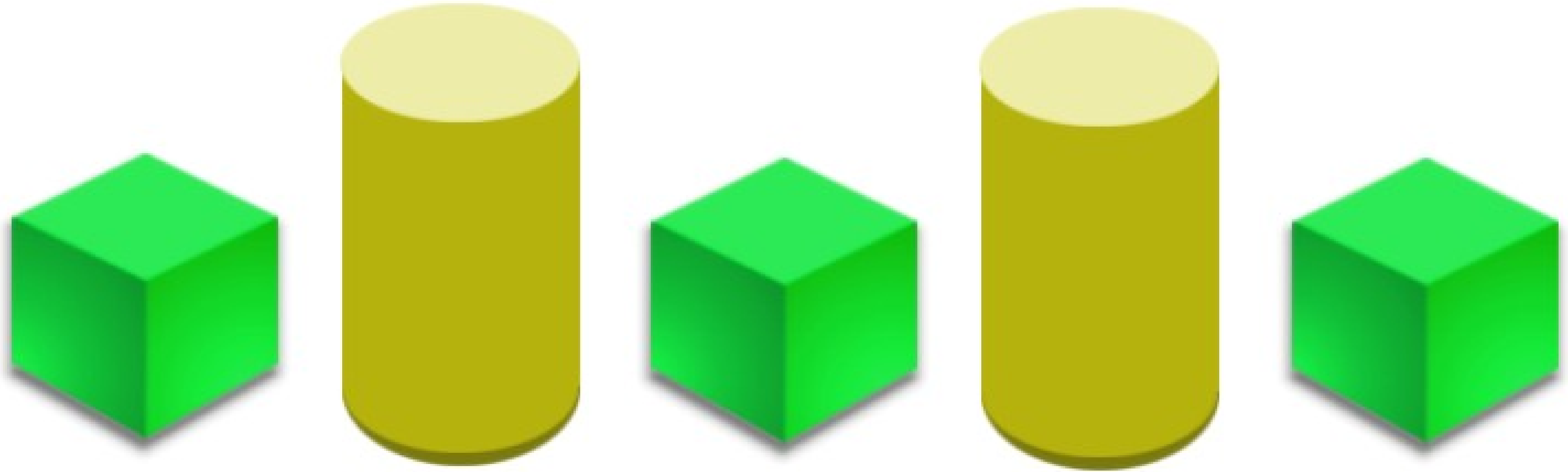
Melegen hengerelt betonacél tekercs

Felhasznált irodalom

Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.

Révay Miklós: Kis magyar cementkémia. Beton. IX. évf. 2001. 7 - 8. szám. pp. 7 - 9.

http://www.rudabanya.hu/index.php?mit=tortenelem

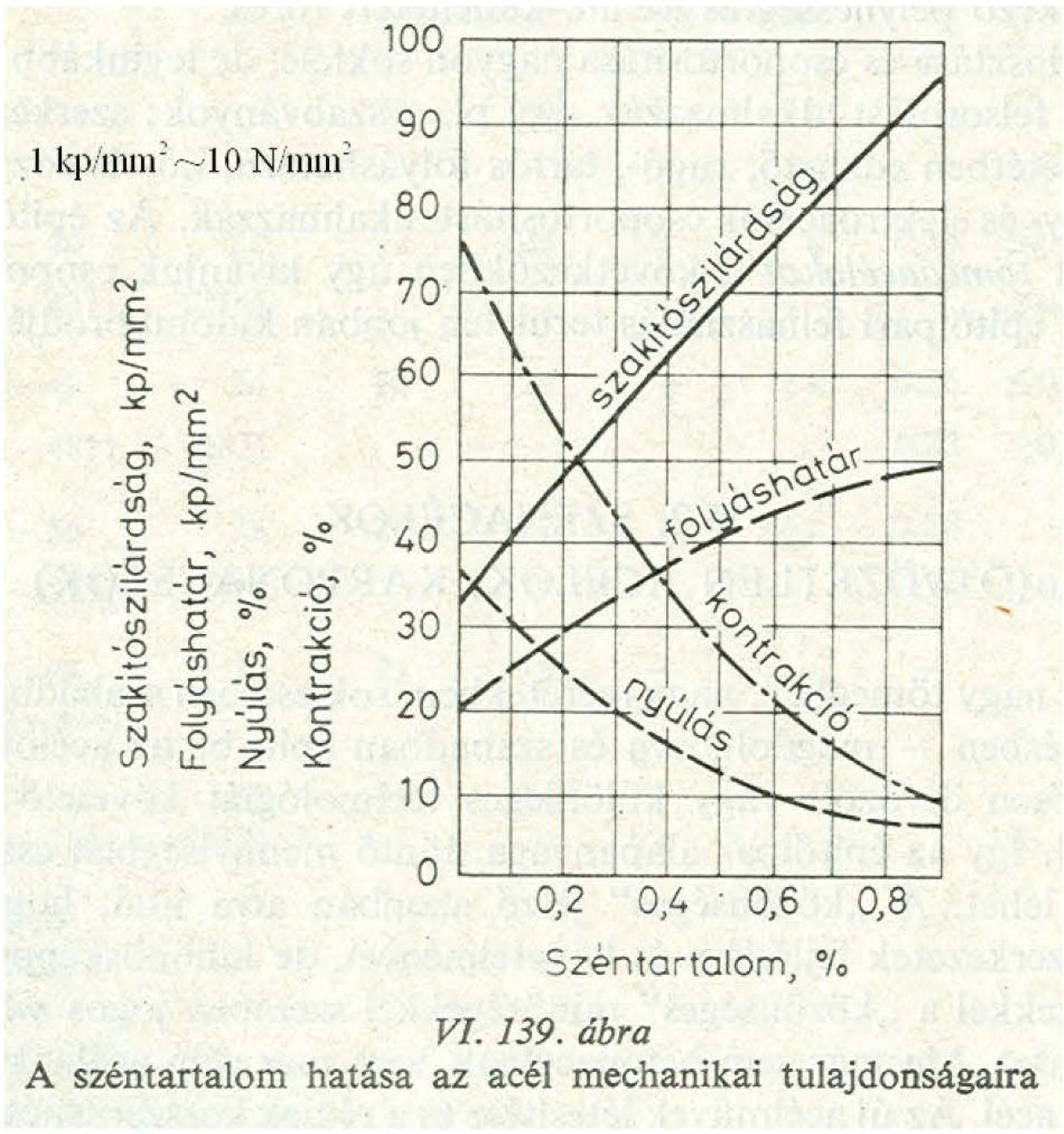


AZ ACÉL HÚZÓSZILÁRDSÁGA, ALAKVÁLTOZÁSA ÉS JELÖLÉSE

– A 2008 októberében készített dolgozat 2017 februárjában frissített változata –

Az acél széntartalma

Acéloknak azokat a — nyersvas feldolgozásával nyert — kis széntartalmú vas-szén ötvözeteket tekintjük, amelyek **széntartalma kevesebb, mint 2,06 tömeg%**[1]. Az öntött acélok széntartalma 1,70 – 2,06 tömeg%, a tulajdonképpeni építőipari acélok széntartalma kevesebb, mint **1,7 tömeg%**[2]. (Lásd még az „Az acélgyártás termékeinek (és melléktermékeinek) rövid ismertetése” c. dolgozatot is.) A határértéknek tekintett széntartalmat a vas-szén ötvözetek állapotábrájából vezetik le: a határérték az *ausztenit* nevű γ vas-szén szilárdoldat legnagyobb koncentrációja, amelyet az állapotábrán az ún. *E* pont jelöl ki[1 és 2].



VI. 139. ábra
A széntartalom hatása az acél mechanikai tulajdonságaira

1. ábra. Forrás: Dr. Palotás László: Fa –kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

---

[1] Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.
[2] Palotás László: Fa –kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

A **szén** az acél legfontosabb ötvözője. A széntartalom növekedésével növekszik a betonacél folyáshatára és szakítószilárdsága, csökken a nyúlása, kontrakciója és ütőmunkája (*1. ábra*). Az acélok nyomódiagramja hasonló a húzódiagramjukhoz, de a nyomószilárdság a húzószilárdságnál valamivel nagyobb, ezért a húzószilárdságot tekintik mértékadónak, és a nyomószilárdságot nem vizsgálják.

Az acél hegeszthetősége

A szenen kívül más ötvözőt nem tartalmazó ún. ötvözetlen szénacél általában akkor **hegeszthető**, ha a **széntartalma legfeljebb 0,22 – 0,25 tömeg%.** A hegeszthető acél ne legyen edzhető. (Edzés az a hőkezelési eljárás, amikor az acélt felmelegítik 950 °C fölé, majd nagy sebességgel lehűtik. Az edzés célja a nagykeménységű szövetszerkezet előállítása. Az erősen edzett acélok üvegszerűen ridegek.) A nem edzhető acél-ötvözetek az edzhetőknél puhábbak, ezért azokat lágyvasnak (lágyacélnak) nevezik. A *hegeszthető betonacélokat* meleg hengerléssel és/vagy hideg alakítással gyártják. A 0,22 – 0,25 tömeg%-nál nem nagyobb széntartalmú *melegen hengerelt betonacélok* (MSZ 339:1987) és a legfeljebb 0,2 tömeg% széntartalmú *hidegen alakított betonacélok* (a hideg alakítás például a melegen hengerelt betonacélok bordázata elkészítésének egyik lehetséges módja, így készül az MSZ 982:1987 szabvány szerinti BHB55.50 jelű, és a DIN 488:1984 szerinti Bst500M jelű betonacél), illetve a belőlük készült *hálóacélok* („hálóacélok", MSZ 982:1987 és DIN 488-1:1984) jól hegeszthetők.

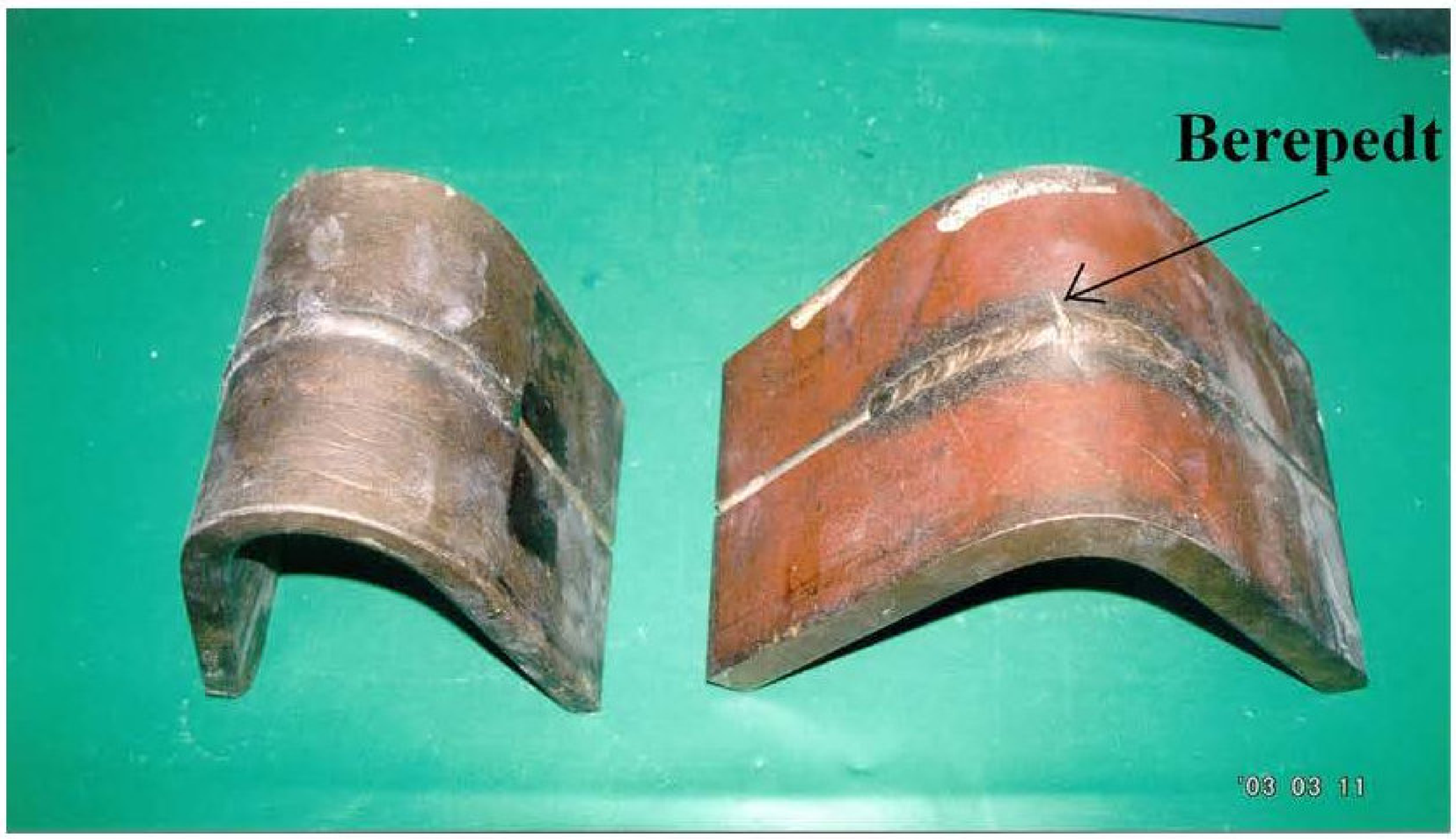
A *hidegen húzott feszítőhuzalok* (ötvözetlen acélhuzalok) széntartalma 0,45 – 0,80 tömeg%, tehát nem hegeszthetők.

A szenen kívül más ötvözőt is tartalmazó, ún. ötvözött szénacél hegeszthetőségét az ötvöző elemek (szén, mangán, króm, molibdén, vanádium, nikkel, réz,) mennyiségét is figyelembe vevő szénegyenérték (C_{ekv}) fejezi ki, amelynek megengedett legnagyobb értéke a hegesztendő anyag vastagságától (d) függ, elegendő üzembiztonság mellett például d = 6,35 mm esetén $C_{ekv} \leq 0{,}45$ tömeg%, d = 12,7 mm esetén $C_{ekv} \leq 0{,}40$ tömeg%, d = 25,4 mm esetén $C_{ekv} \leq 0{,}35$ tömeg% [Forrás: Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984. 12.7. táblázat].

A szénegyenértéket (C_{ekv} ill. C_{eq}) a hegeszthető betonacélokra az MSZ EN 10080:2005 európai szabvány az anyagvastagságtól függetlenül a következő képletből számítja ki:

$$C_{eq}{}^{\%} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

és a hegeszthetőség feltételeként olvadékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}22$ és $C_{eq}{}^{\%} \leq 0{,}50$ tömeg%, illetve termékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}24$ és $C_{eq}{}^{\%} \leq 0{,}52$ tömeg% követelményt támasztja.



2. ábra. Hegesztési varrat vizsgálata hideghajlítással

A hidegen alakított betonacélok hegesztés környezetében kilágyulhatnak és elveszthetik a hidegalakítás keményítő hatását. (Hideg alakítás 12 mm átmérőig, hideg profilírozás 14-16 mm átmérőig végezhető. E felett a varrat és környezete hajlító vizsgálata, keménység vizsgálata, ütő vizsgálata, szakító vizsgálata nem mellőzhető.)

Melegen betonacélok és hidegen húzott feszítőhuzalok jellegzetes feszültség – fajlagos alakváltozás diagramja

A *3. ábra* különböző szakítószilárdságú melegen hengerelt (jele B) és csavart betonacélok (jele Cs), valamint egy hidegen húzott feszítőhuzal (jele: 1600.5M) jellegzetes feszültség – fajlagos alakváltozás ($\sigma - \varepsilon$) diagramját egy koordinátarendszerben ábrázolva veti össze. A betonacélok legfőbb jellemzője a folyáshatárnak nevezett feszültség, amelyet a lényegében változatlan erő mellett fellépő nyúlások jellemeznek. Az ún. felső folyáshatár elérése után a $\sigma - \varepsilon$ ábra kissé

visszaesik, és ezt az ún. alsó folyáshatárt felkeményedő szakasz követi egészen a szakadásig. A termékszabványok általában a felső folyáshatárt nevezik meg. A hideg átalakítás során a melegen hengerelt csavart betonacélok és az ugyancsak melegen hengerelt acélból gyártott hidegen húzott feszítőhuzalok elvesztik folyáshatárukat.

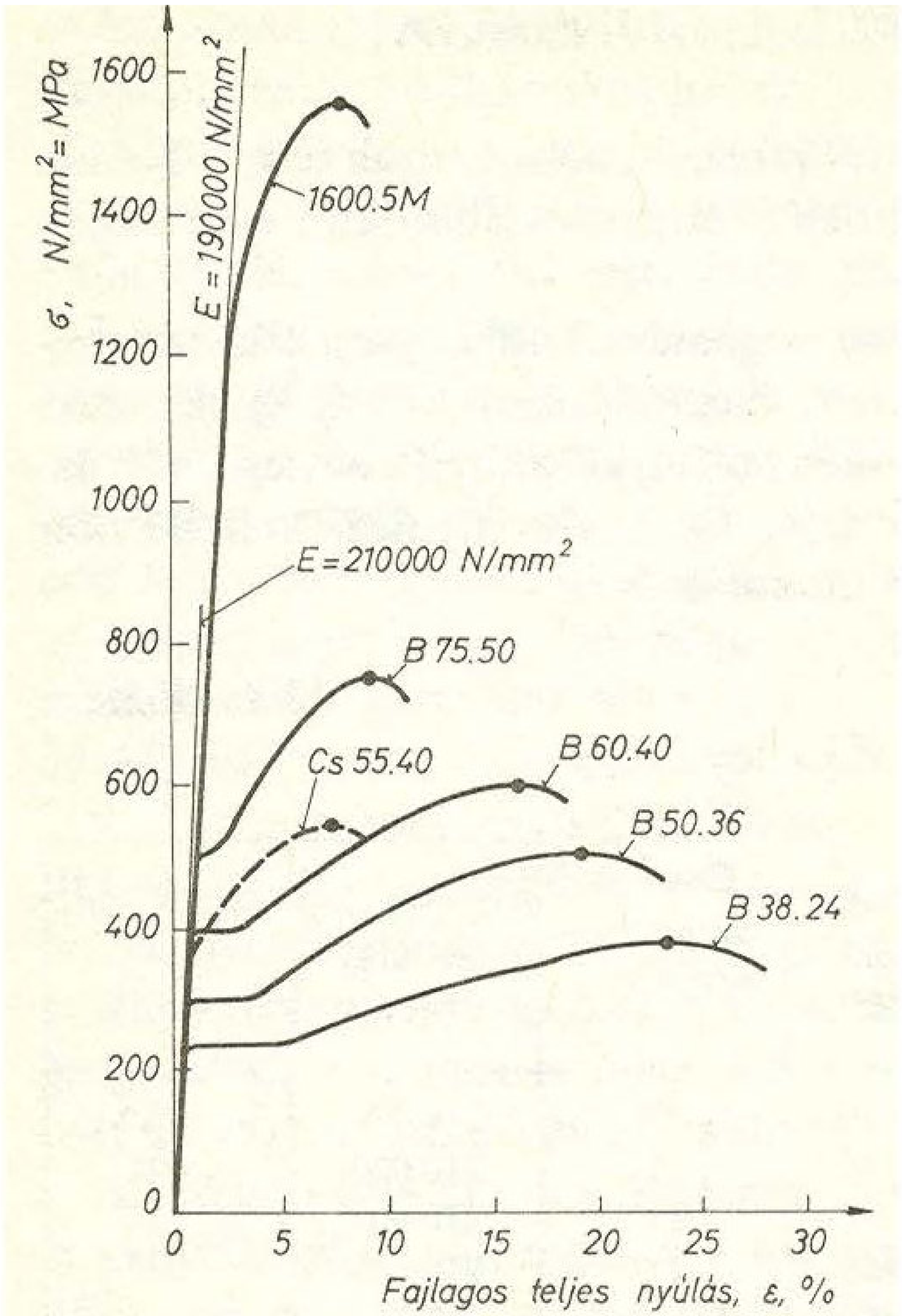
Az acél folyáshatárának az igénybevehetőség szempontjából nagy jelentősége van. A beépített betonacél a határszilárdságig terhelhető, amely határszilárdság a folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosa. A hidegen húzott feszítőhuzalok sem vehetők igénybe a szakítószilárdságig, hanem csak a számítással meghatározható névleges, vagy egyezményes folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosát képező határszilárdságig.

A **határszilárdság** meghatározásához az épületek acélszerkezeteire vonatkozó MSZ ENV 1993-1-1:1995 (Eurocode 3) szabványtervezet szerint a **melegen hengerelt szerkezeti acél** képlékeny teherbírásra vonatkozó **biztonsági tényezőjének** az értéke 1,1. Az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint a **betonacél** folyáshatárának, a **feszítőhuzal** és a **feszítőpászma** 0,1 %-os egyezményes folyáshatárának **biztonsági tényezője** 1,15.

Visszatérve a *3. ábra* tanulmányozására, megfigyelhető, hogy a szilárdság növekedésével csökken a legnagyobb teherhez tartozó nyúlás és a szakadó nyúlás (amely utóbbit olykor teljes nyúlásnak[3] is nevezik) is.

A *3. ábrán* az $E = 210.000$ N/mm^2 a melegen hengerelt betonacél, az $E = 190.000$ N/mm^2 a hidegen húzott feszítőhuzal kezdeti rugalmassági modulusa.

[3] Javasoljuk, hogy a teljes nyúlás kifejezést ne használjuk a szakadó nyúlás szinonímájaként. Ugyanis bármely teherhez tartozó nyúlás felbontható rugalmas nyúlásra és maradó nyúlásra, és ebben az értelemben e kettő összege tekinthető az adott teherhez tartozó teljes nyúlásnak. Az így értelmezett teljes nyúlás (teljes hosszváltozás, teljes alakváltozás, betonok esetén teljes összenyomódás stb.) rugalmas része a kezdeti és a tehermentesítési rugalmassági modulus meghatározásában játszik döntő szerepet. A maradó nyúlásnak az acél alakíthatósága, a betonacél hajlíthatósága (pl. tört vonalú betonacélok, kampók, emelőhorgok készítése) szempontjából van jelentősége.
Kausay



12.10. ábra. Betonacélok jellegzetes σ–ε diagramjai

3. ábra. Forrás:
Palotás László:
Fa – kő – fém –
kötőanyagok. Mérnöki
szerkezetek anyagtana.
2. kötet. Akadémiai Kiadó.
Budapest, 1979.,
illetve
Balázs György:
Építőanyagok és kémia.
Tankönyvkiadó.
Budapest, 1984.

Az acélok jelölése

Az acélok jelölése a korábbi évtizedekben szokásos jelölésekhez képest napjainkra megváltozott. Amíg korábban a melegen hengerelt és a hidegen alakított betonacél jelében a betűjelet követően a szakítószilárdság, vagy a folyáshatár és a szakítószilárdság kp/mm^2-ben kifejezett követelmény értéke állt, addig napjainkban a betonacél szilárdsági tulajdonságainak követelményeként a **folyáshatár** (jele: R_e, újabban f_y) N/mm^2-ben kifejezett jellemző értékét (f_{yk}) használják. A 0,1 %-os vagy 0,2 %-os egyezményes folyáshatár jele: $R_{p0,1}$ ($f_{p0,1}$) ill. $R_{p0,2}$ ($f_{p0,2}$ vagy $f_{0,2}$), ezek jellemző értékének jele: $R_{p0,1k}$ ($f_{p0,1k}$) ill. $R_{p0,2k}$ ($f_{p0,2k}$ vagy $f_{0,2k}$). A korábbiakhoz képest a folyáshatár a szakítószilárdsághoz közelebb esik, a szilárdsági követelmény

megnövekedett, az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány szerint a vasbetonszerkezetek 400-600 N/mm^2 folyáshatárú betonacéllal készüljenek.

Érdekes, hogy a **hegeszthető betonacélokra** vonatkozó **MSZ EN 10080:2005** európai szabvány termékosztályokat, és így acéljelet sem tartalmaz. Úgy rendelkezik, hogy a termékosztályokat ezzel a szabvánnyal összhangban a folyáshatár mért jellemző értéke (R_e, f_{yk}), a legnagyobb teherhez — a σ - ε diagram legmagasabb pontjához — tartozó fajlagos nyúlás legkisebb mért értéke ($A_{gt} = \varepsilon_u$)[4], a szakítószilárdság (R_m, f_t) és a folyáshatár mért jellemző értékének hányadosa (R_m/R_e), a folyáshatár megkövetelt ($R_{e,act}$) és mért ($R_{e,norm}$) jellemző értékének hányadosa ($R_{e,act}/R_{e,norm}$) stb. alapján kell meghatározni, illetve a gyártónak megadnia. A mért jellemző érték számítását a szabvány p = 0,95 és 0,90 alulmaradási hányad mellett, a vizsgált próbadarabok számának és a mért értékek átlagának és szórásának függvényében teszi lehetővé.

Az MSZ EN 10080:2005 európai szabványhoz képest változást hozott az **MSZ EN 10027-1:2006** európai szabvány, amely az acélok jelölésével foglalkozik. A jelölést alkalmazni kell az Európában szabványosított acélokra, és alkalmazni lehet a szabványon kívüli acélokra. Az MSZ EN 10027-1:2006 szabvány az acélokat a fő felhasználási területre, a mechanikai vagy fizikai tulajdonságokra vagy az összetételre utaló betű és szám kombinációjával jelöli, de a jelölés különleges esetekben további szimbólumokat is tartalmazhat. A jelet angolul „steel names”, németül „Kurznamen”, franciául „désignation symbolique” kifejezéssel illetik. Az MSZ EN 10027-1:2006 szabvány szerint a betonacél betűjele „B”, ezt követi a folyáshatár előírt jellemző értéke (felső: R_{eH} vagy alsó: R_{eL}), vagy folyáshatár nélküli betonacélok esetén a 0,2 %-os egyezményes folyáshatár (R_p) vagy esetleg a névleges folyáshatár (R_t)[5] mindig MPa (N/mm^2) mértékegységben, ezután a duktilitási osztály betűjele áll („A” vagy „B” vagy „C”, lásd az *1. táblázatot*), amelyet az acél megmunkálására utaló betűjel követhet.

A **feszítőacéloknak** van termékosztálya és jele. A **feszítőhuzalok** jelében a feszítőacélok betűjele (Y), a szakítószilárdság előírt jellemző értéke, a feszítőhuzal betűjele (C), a névleges átmérő és a felületképzésre utaló jel szerepel. A feszítőacélok

---

[4] A legnagyobb teherhez tartozó fajlagos nyúlás EN 10080:2005 szerinti A_{gt} jele az MSZ EN 1992-1-1:2005 és MSZ EN 1992-1-2:2005 (Eurocode 2) szabványokban ε_u.

[5] Általában a 0,5 %-os teher alatti teljes nyúláshoz tartozó névleges folyáshatárt ($R_{t,0,5}$) értik alatta.

szilárdsági tulajdonságait a **prEN 10138-1:2000** szabványtervezet szerint általában a szakítóerő előírt jellemző értékével (F_m), a 0,1 %-os egyezményes folyáshatárhoz tartozó húzóerő mért jellemző értékével ($F_{p0,1}$), ezek viszonyával ($F_{p0,1}/F_m$); feszítőhuzalok (**prEN 10138-2:2000**), feszítőpászmák (**prEN 10138:2000**) és feszítőrudak (**prEN 10138-4**) esetén ezek szilárdsági értékével fejezik ki. Feszítőhuzal esetén a 0,1 %-os egyezményes folyáshatárhoz tartozó feszültség mért jellemző értékének ($R_{p0,1}$) és a szakítószilárdság előírt jellemző értékének (R_m) hányadosa ($R_{p0,1}/R_m$) legalább 0,86 legyen. A jellemző érték számítása $p = 0,95$ alulmaradási hányad mellett történik.

Az *1. táblázat* példákat tartalmaz az acélok korábbi és mai jelölésére.

1. táblázat. Példák az acélok korábbi és mai jelölésére

Termékszabvány jele	Acél jele Példa	Folyáshatár		Szakítószilárdság	
		(kp/mm²)	N/mm²	(kp/mm²)	N/mm²
Általános rendeltetésű ötvözetlen, melegen hengerelt szerkezeti (szén)acél					
MSZ 500:**1974** Visszavonva	A 50	(28-30)	275-294	(**50**-64)	490-628
MSZ 500:**1989** Visszavonva	Fe 490	-	255-275	-	450-**490**-610
EN 10025:1990 Visszavonva	Fe 510	-	335-355	-	490-**510**
MSZ EN 10025-1:**2005**	S 355	-	**335**-355	-	490-510
MSZ EN 10025-2:**2005**	S355J2 [7]	-	**335**-355	-	490-510
Melegen hengerelt hídszerkezeti acél					
MSZ 112:**1958** Visszavonva	A 50.35.**12**	(**35**)	legalább 343	(**50**-60)	490-589
Melegen hengerelt betonacél vasbeton szerkezetekhez					
MSZ 339:**1987**	B 60.50	(**50**)	legalább 490	(**60**)	legalább 590
MSZ 982:**1987**	BHB 55.50	(**50**)	legalább 490	(**55**)	legalább 540
prEN 10080-1:1999, :**2004** [1] Visszavonva	S 500 A, B, C [2]	-	420-**500**	-	
MSZ EN 10080:**2005** [1]	Nincs jel	-	legalább 500	-	például min. 1,08·500=540
MSZ EN 10027-1:**2006**	B500B [8]	-	legalább 500		például min. 1,08·500=540
Hidegen alakított betonacél vasbeton szerkezetekhez					
MSZ EN 10080:**2005** [1]	Nincs jel	-	0,2 %-os egyezményes folyáshatár jellemző értéke legalább 500	-	például min. 1,05·500=525
MSZ EN 10027-1:**2006**	B500A [9]	-	0,2 %-os egyezményes folyáshatár jellemző értéke legalább 500	-	például min. 1,05·500=525
Hidegen húzott feszítőhuzal feszített vasbeton szerkezethez					
			0,1 %-os egyezményes folyáshatár jellemző értéke		Jellemző érték
MSZ 5720:**1979** (:1987) Visszavonva	1750.Ø MS [3] [4]	-	legalább 1520		legalább **1750**
MSZ 5720:**1993**	1770.Ø S [3] [5]	-	legalább 1520	-	legalább **1770**
prEN 10138-1:**2000** [1] MSZ EN 10027-1:**2006**	Y1770C Ø [3] [6]	-	legalább 1520	-	legalább **1770**
7 eres feszítőpászma feszített vasbeton szerkezethez					
			0,1 %-os egyezményes folyáshatár jellemző értéke		Jellemző érték
MSZ 465:1987	F_p Ø/1860 [3]	-	legalább 1560	-	legalább **1770**
prEN 10138-3:**2000** [1]	Y 1860 S 7 Ø [3] [6]	-	legalább 1560	-	legalább **1770**

Az *1. táblázathoz* tartozó megjegyzések a következő oldalon találhatók.

Megjegyzések az *1. táblázathoz*:

[1] Az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok c. szabvány prEN 10080 szerinti betonacél és EN 10138 szerinti feszítőhuzal alkalmazását írja elő.

Jelölések magyarázata:

[2] *A*, *B*, *C* duktilitási (alakíthatósági) osztály egyik követelménye, a szakítószilárdság és a folyáshatár hányadosa jellemző értékének megengedett legkisebb értéke, rendre ≥ 1,05; ≥ 1,08; ≥ 1,15, de < 1,35. Ez a hányados mintegy 15 évvel ezelőtt még jelentősen nagyobb szám volt (lásd MSZ 500:1989), azaz az újabb gyártmányok esetén a folyáshatár közelít a szakítószilárdsághoz.
A másik követelmény a legnagyobb teherhez tartozó fajlagos megnyúlás jellemző (karakterisztikus) értékének megengedett legkisebb értéke, rendre: $2{,}5\% \leq \varepsilon_{uk} < 5{,}0\%$ (*A* osztály); $5{,}0\% \leq \varepsilon_{uk} < 7{,}5\%$ (*B* osztály); $7{,}5\% \leq \varepsilon_{uk}$ (*C* osztály) (MSZ EN 1992-1-1:2010).

[3] Ø = Névleges átmérő mm-ben. Szokásos jele továbbá: *d*

[4] MS a jel végén = Megeresztett (hőkezelt) sima kivitel, ma már nem járatos

[5] S a jel végén = Stabilizált kivitel

[6] A prEN 10138 európai szabványtervezet sorozatban C a feszítőhuzal jele, S a pászma jele a huzalok számával (valamint H a melegen hengerelt rúd jele)

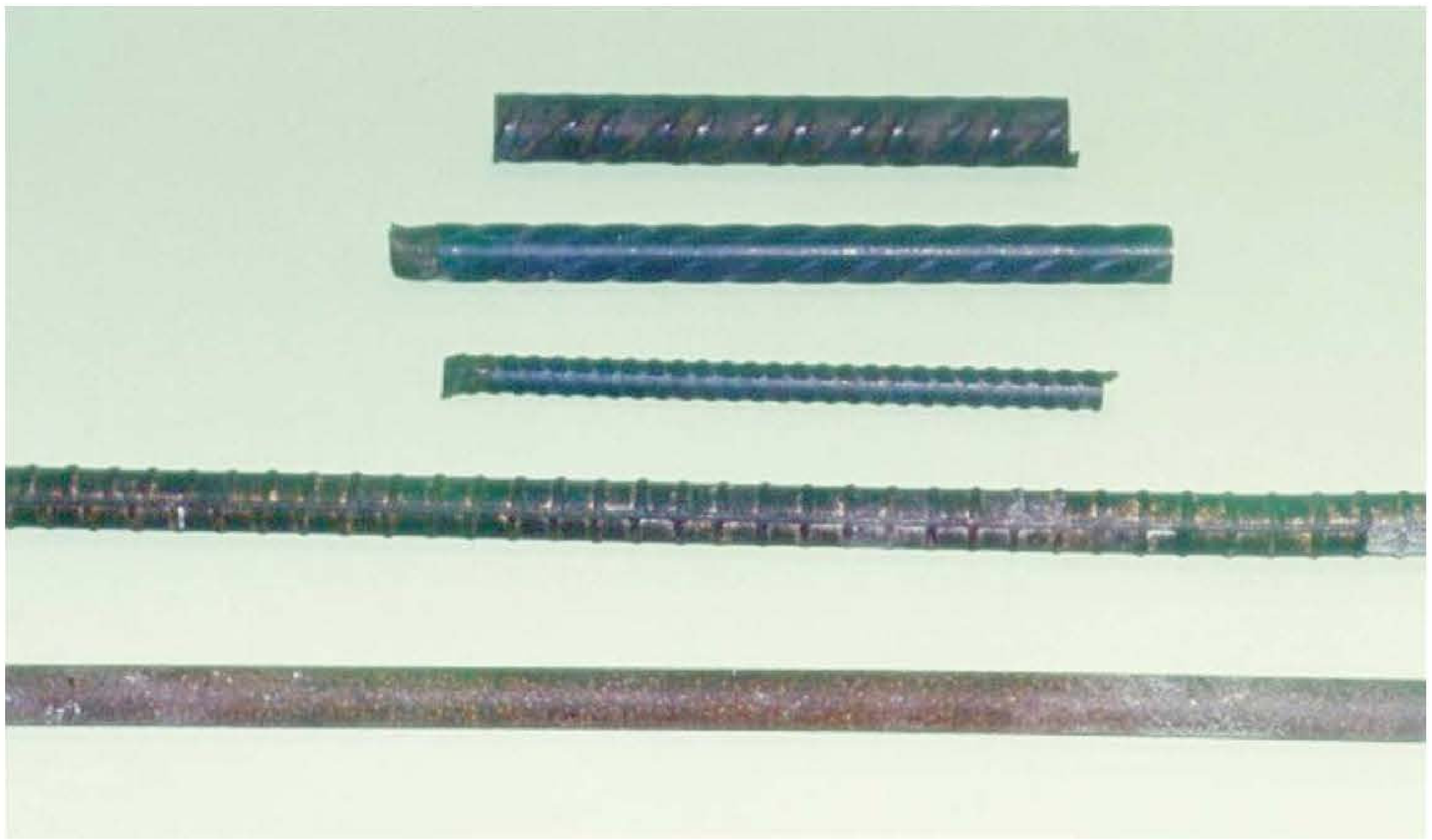
[7] A példakénti J2 jel a -20 °C hőmérsékleten, bemetszett próbatesten mért megkövetelt 27 joule ütőmunkát jelenti (MSZ EN 10027-1:2006 szabvány 1. táblázata)

[8] Tartószerkezetek, hidak építése során alkalmazzuk, nagyobb alakíthatósága miatt.

[9] Elsősorban hegesztett síkhálók készítésének az anyaga.

Az SI mértékegység rendszer 1976. évi bevezetése az erő mértékegységében változást hozott. Az *1. táblázatban* az 1 kp = 9,81 kg·m/s^2 = 9,81 N ~ 10 N szerinti átszámítás nyomai a szilárdsági adatokban fellelhetők.

MEGJEGYZÉS: A B500A jelű (MSZ EN 10027-1:2006) betonacél lényegében a BHB55.50 jelű (MSZ 982:1987) hidegen alakított betonacélnak, a B500B jelű (MSZ EN 10027-1:2006) betonacél a B60.50 jelű (MSZ 339:1987) melegen hengerelt betonacélnak felel meg.



4. ábra. Melegen hengerelt betonacél

Az MSZ EN 10080:2005 európai forrásszabványának előszavában olvashatjuk, hogy ebben európai szabványban nem határoztak meg műszaki osztályokat (technical classes, technische Klassen). A műszaki osztályokat ezzel a szabvánnyal összhangban a folyáshatár, a legnagyobb teherhez tartozó nyúlás, a szakítószilárdság és folyáshatár hányadosa, a folyáshatár mért és előírt értékének hányadosa, a tartós lüktető szilárdság, a hajlíthatóság, a hegeszthetőség és a kapcsolati szilárdság alapján kell megállapítani.

Az európai szabvány német verzióját (DIN EN 10080:2005) német nemzeti előszóval is ellátták. Ebben arról írnak, hogy ennek a szabványnak az alapján betonacélt rendelni és/vagy szállítani nem lehet. Betonacélt csak olyan termék specifikáció alapján (adott esetben ilyen lehet valamely európai szabvány, műszaki specifikáció, nemzeti szabvány vagy általános építésfelügyeleti engedély) szabad forgalmazni, amelyben a műszaki osztály meghatározása megtalálható. Ha a termék specifikációban szereplő meghatározások ezzel a szabvánnyal összhangban vannak, akkor a termék specifikáció alapján gyártott termékek a CE-jellel elláthatók, feltéve, hogy a tulajdonságaik a követelményeknek megfelelnek. A német nemzeti DIN 488 szabványsorozat tagjainak e szellemben történő átdolgozása folyamatban van. A német verzió szerint műszaki osztály alatt „teljesítmény jel”-lel (Leistungsmerkmal) ellátott betonacélt értenek, amely a hozzárendelt termékszámmal azonosítható be.

A betonacél szállítmány minőségi bizonylatán a gyártó megnevezésének is szerepelnie kell.

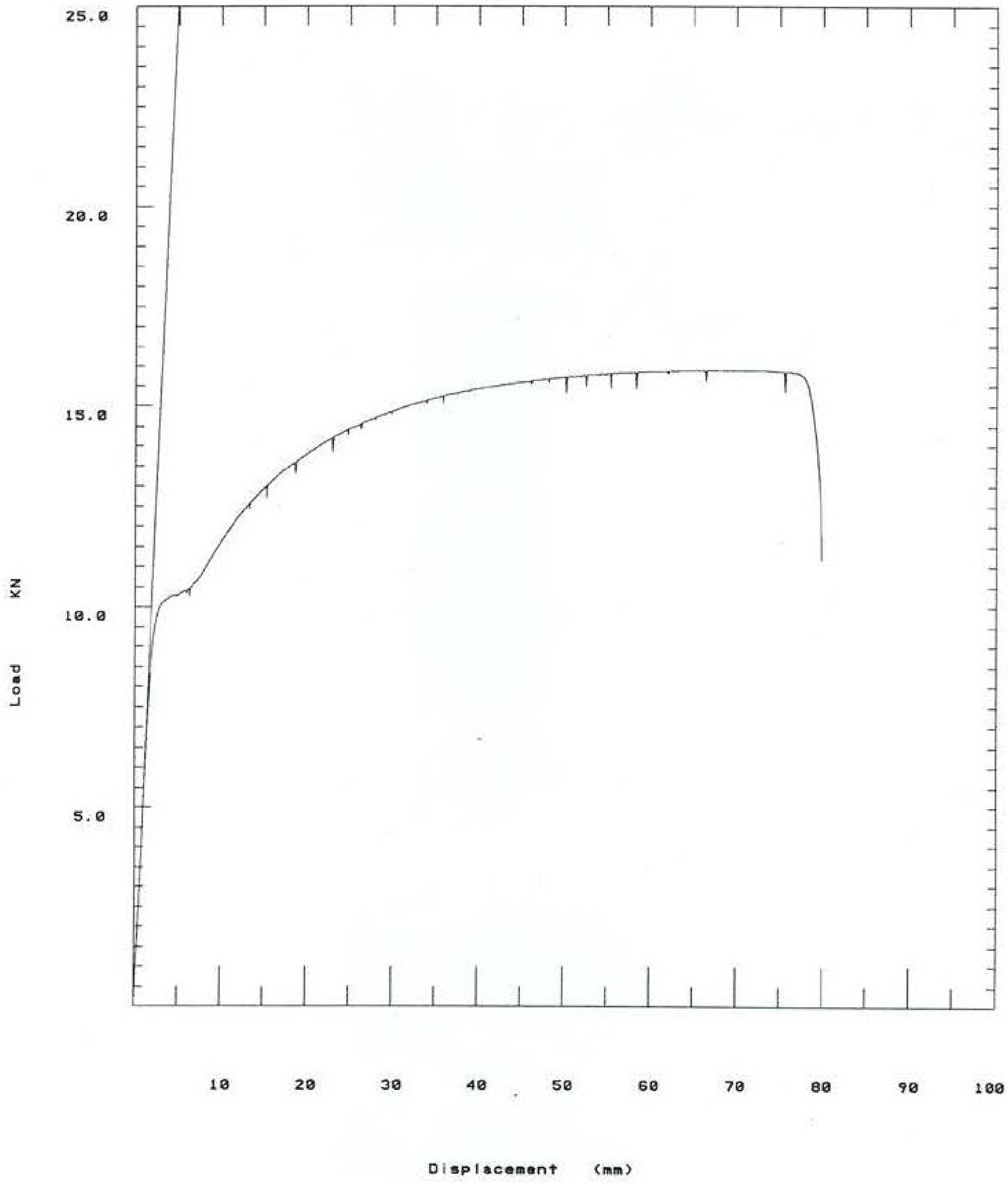
A gyártómű vizsgáló laboratóriuma a szilárdság és nyúlás mérési eredmények jellemző értékét a vizsgálati eredmények átlaga, szórása és száma alapján az **MSZ EN 10080:2005** szabvány 8.5. szakasza illetve 16. és 17. táblázata szerint számíthatja ki. A tétel így meghatározott jellemző értéken alapuló minősítése — az elfogadás vagy az elutasítás melletti döntés — helyességének a valószínűsége 90 %. A beépítéskori minőségellenőrzés során a szakítószilárdság, a folyáshatár és a nyúlás előírt jellemző értéke előírt minimum értéknek számit.

2. táblázat. Az MSZ 339 és MSZ EN 10080 szabványban, valamint az MSZ EN 1992-1-1 és MSZ EN 1992-1-2 szabványban használt jelek összehasonlítása

	MSZ 339 MSZ EN 10080	MSZ EN 1992-1-1 MSZ EN 1992-1-2
Folyáshatár	R_e	f_y
Terhelt állapotban, 0,2 % nem arányos nyúlásnál mért egyezményes folyáshatár	$R_{p0,2}$	$f_{p0,2}$
Szakítószilárdság	R_m	f_t
A szakítószilárdság/folyáshatár aránya, duktilitása (alakíthatósága)	R_m/R_e	f_t/f_y
Százalékos teljes nyúlás a legnagyobb terheléskor	A_{gt}	ε_u
Névleges átmérő	d	Ø

Betonacél tulajdonságai és vizsgálata

A *5. ábrán* példát látunk a melegen hengerelt betonacél húzókísérlet alatt felvett szakító diagramjára. A vízszintes tengelyen lévő (mért) $\Delta L = L - L_0$ [mm] megnyúlás értékekből az $\varepsilon = \Delta L/L_0$, illetve a diagramban történő ábrázoláshoz az $\varepsilon^{\%} = 100 \cdot \Delta L/L_0$ fajlagos alakváltozás értékek, a függőleges tengelyen lévő (mért) F húzóerő értékekből az $\sigma = F/A$ [N/mm^2] húzófeszültség értékek számíthatók ki. A kezdeti rugalmassági modulus értékét az origóból induló egyenes hajlásszögének iránytangense fejezi ki: $E = \mathrm{tg}\alpha = \sigma/\varepsilon$ [N/mm^2]. Fentiekben L a megnyúlt hossz, és L_0 a hosszmérés alaphosszának jele.



5. ábra. Példa a melegen hengerelt betonacél szakító diagramjára

Példaképpen számítsuk ki egy melegen hengerelt betonacél szilárdsági és alakváltozási jellemzőit, amelynek húzókísérlete során a következő adatokat mértük:

A próbapálca névleges átmérője:	$d_{névl}$ =	12 mm
A próbapálca tömege:	M =	695 g
A próbapálca hossza:	ℓ =	801 mm
A próbapálca befogási hossza (a megnyúlás mérési alaphossza):	L_0 =	400 mm
A felső folyáshatárhoz tartozó húzóerő:	$R_{e,felső,test,i}$ =	67,5 kN
A felső folyáshatárhoz tartozó megnyúlás:	$\Delta L_{felső\ folyáshatár}$ =	11 mm [6]
Az alsó folyáshatárhoz tartozó megnyúlás:	$\Delta L_{alsó\ folyáshatár}$ =	17 mm
A szakítóerő:	$R_{m,test,i}$ =	76,0 kN
A legnagyobb teherhez tartozó nyúlás:	ΔL_u =	63 mm
A megnyúlás $5 \cdot d_{névl} = 60$ mm hosszon:	$\Delta L_{5 \cdot d}$ =	72,9 – 60 = = 12,9 mm

[6] Lásd a 6 lábjegyzetet.

Befűződött (kontrahált) átmérő a szakadás helyén: $d_{\text{kontrahált}} = 9{,}0$ mm
Az acél testsűrűsége: $\rho_{\text{acél}} = 7{,}85$ g/cm^3

MEGJEGYZÉS: Az acél termékszabványok – az alábbi példával ellentétben – úgy rendelkeznek, hogy a betonacél szilárdsági tulajdonságait (folyáshatár, szakítószilárdság) a névleges átmérővel, illetve névleges keresztmetszeti területtel kell kiszámítani.

Számítási eredmények:

A próbapálca helyettesítő keresztmetszeti területe:

$$A_0 = \frac{M}{\rho_{acél} \cdot \ell} = \frac{695}{7{,}85 \cdot 80{,}1} = 1{,}105\ cm^2 = 110{,}5\ mm^2$$

A próbapálca helyettesítő átmérője:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 110{,}5}{3{,}14}} = 11{,}9\ mm$$

Folyáshatár:

$$\sigma_{folyáshatár} = \frac{R_{e,\,felső,test,i}}{A_0} = \frac{67500}{110{,}5} = 610{,}9\ N/mm^2$$

A felső folyáshatárhoz tartozó fajlagos megnyúlás:

$$\varepsilon_{felső\ \ folyáshatár}{}^{\%} = \frac{\Delta L_{felső\ \ folyáshatár}}{L_0} \cdot 100 = \frac{11}{400} \cdot 100 = 2{,}75\ \%$$ [7]

Az alsó folyáshatárhoz tartozó fajlagos megnyúlás:

$$\varepsilon_{alsó\ folyáshatár}{}^{\%} = \frac{\Delta L_{alsó\ folyáshatár}}{L_0} \cdot 100 = \frac{17}{400} \cdot 100 = 4{,}25\ \%$$

Szakítószilárdság:

$$\sigma_{szakító} = \frac{R_{m,test,i}}{A_0} = \frac{76000}{110{,}5} = 687{,}8\ N/mm^2$$

Szakítóerő és a folyáshatárhoz tartozó erő hányadosa a duktilitás (alakíthatóság) egyik

---

[7] A felső folyáshatárhoz tartozó fajlagos megnyúlás fenti, mért értékénél nagyságrenddel kisebb érték a folyáshatár kezdetéhez tartozó fajlagos megnyúlás, amelyet egyszerű hosszméréssel igen nehéz meghatározni, és elméleti értékét (ε_y) a folyáshatár kezdetének (f_y = 500 N/mm^2) és a betonacél névleges rugalmassági modulusának (E_s = 200000 N/mm^2) hányadosaként lehet kiszámítani: $\varepsilon_y{}^{‰} = (500/200000) \cdot 1000 = 2{,}5$ ‰. Ennek a biztonsági tényezővel (γ_s = 1,15) csökkentett értéke a folyáshatár kezdetéhez tartozó fajlagos megnyúlás *tervezési* értéke: $\varepsilon_{yd}{}^{‰} = \varepsilon_y{}^{‰}/1{,}15 \approx 2{,}175$ ‰, Kausay

jellemzője:

$$\frac{R_m}{R_e} = \frac{76,0}{67,5} = 1,13 \rangle 1,08 \Leftarrow \textit{a B duktilitási osztály egyik követelménye}$$

Legnagyobb teher alatti nyúlás a duktilitás (alakíthatóság) másik jellemzője:

$$\varepsilon_u{}^{\%} = \frac{\Delta L_u}{L_0} \cdot 100 = \frac{63}{400} \cdot 100 = 15,75\ \% \Leftarrow \textit{a C duktilitási osztály másik követelménye}$$

Fajlagos megnyúlás $5 \cdot d_{névl} = 5 \cdot d_{névl} = 5 \cdot 12 = 60$ mm hosszon:

$$\varepsilon_{5 \cdot d}\,\% = \frac{\Delta L_{5 \cdot d}}{60} \cdot 100 = \frac{12,9}{60} \cdot 100 = 21,50\ \%$$

Kontrakció:

$$Z^{\%} = \frac{A_0 - A_{kontrahált}}{A_0} \cdot 100 = \frac{d_0{}^2 - d_{kontrahált}{}^2}{d_0{}^2} \cdot 100 = \frac{11,9^2 - 9,0^2}{11,9^2} \cdot 100 = 42,8\ \%$$

Értékelés: A példabeli betonacél megfelel az MSZ EN 10080-1:2005 európai szabvány szerinti 500 *C* (folyáshatár és duktilitás, azaz alakíthatóság) minőségi osztálynak.

6. ábra.
Betonacél szakadási képe

7. ábra.
Betonacél szakadási képe

A betonacél rudak és huzalok vizsgálatával az MSZ EN ISO 15630-1:2011, a hegesztett síkhálók vizsgálatával az MSZ EN ISO 15630-2:2011, a feszítőacélok vizsgálatával MSZ EN ISO 15630-3:2011szabvány foglalkozik.

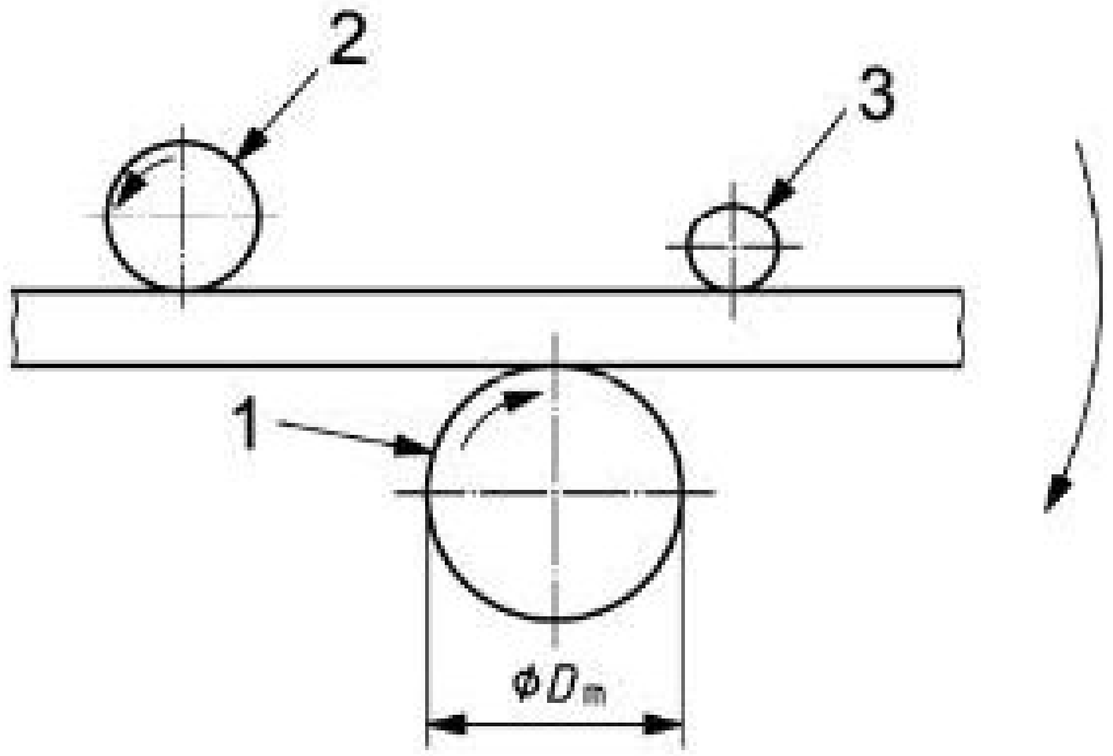
Az MSZ EN ISO 15630-1:2011 szabvány a betonacél rudak és huzalok (betonacélok, azaz nem feszítőhuzalok) húzó, hajlító, vissza-hajlító, axiális tartós rezgés (lengés, fárasztás), kémiai, geometriai és tömeg vizsgálatát, valamint a „vonatkoztatott bordafelület", illetve „vonatkoztatott keresztmetszet" meghatározását szabályozza. A „vonatkoztatott bordafelület" (Bezogene Rippenfläche) fogalmának meghatározása (definíciója) a DIN 488-3:1984 szabványban is megtalálható.

Az MSZ EN ISO 15630-2:2011 szabványban a hegesztett síkhálók húzó, hegesztés környezeti hajlító, csomóponti nyíró, axiális tartós rezgés (lengés, fárasztás), kémiai és geometriai vizsgálatát tárgyalják.

Az MSZ EN ISO 15630-3:2011 szabványban a feszítőacélok húzó, hajlító, ISO 7801:1984 szerinti hajtogató, 120 órás izotermikus relaxáció, axiális tartós rezgés (lengés, fárasztás), ammónium- vagy kálium-tiocianát[8]-oldatban korrodált feszítőacél szakadási idejének, 20°-os tört-tengelyű húzó, kémiai, geometriai, tömeg és a „vonatkoztatott bordafelület" vizsgálatát írják le.

Egyes vizsgálatok elve, elrendezése a 8. – 13. ábrán látható.

[8] A tiocinátot, amely egy anion, nevezik például szulfocianátnak is, régebbi neve rodanid volt. Kémiai képlete: $[SCN]^-$
Kausay

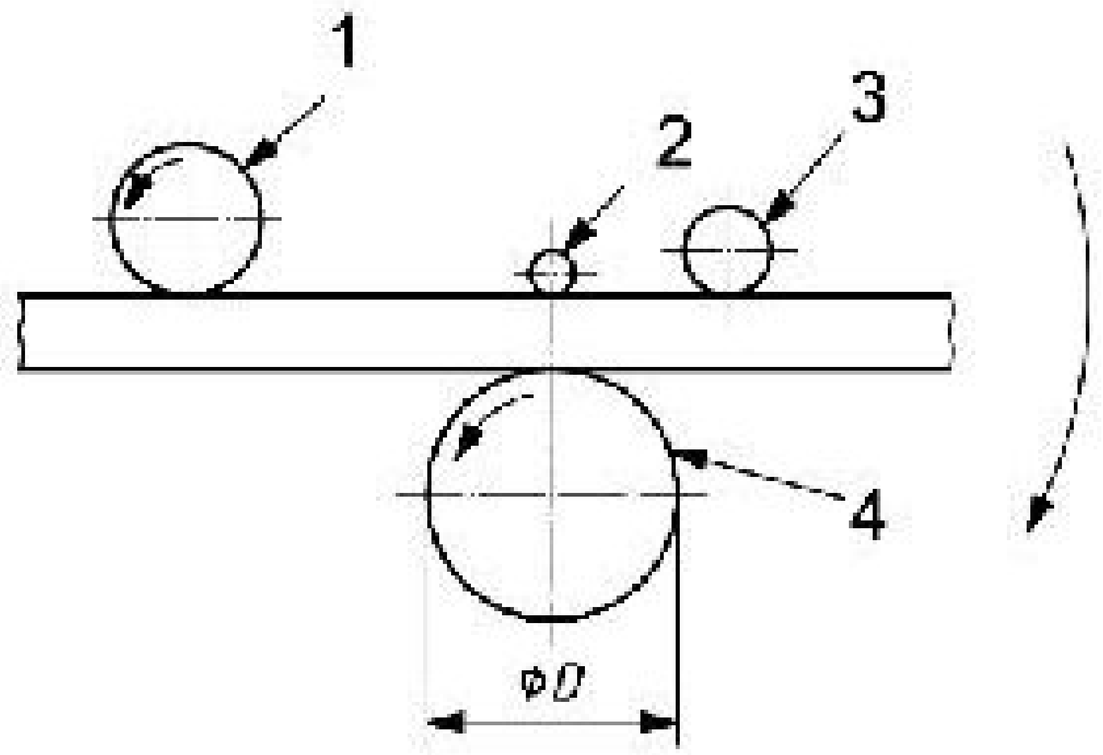


Legende

1 Biegedorn
2 Auflager
3 Mitnehmer

Bild 1 — Prinzip einer Biegevorrichtung

8./a ábra Betonacélok MSZ EN ISO 15630-1:2011 és feszítőhuzalok MSZ EN ISO 15630-3:2011 szabványbeli hajlító vizsgálatának elrendezése



Legende

1 Auflager
2 Kreuzender Draht
3 Mitnehmer
4 Biegedorn

Bild 2 — Prinzip einer Biegevorrichtung

8./b ábra Hegesztett síkhálót alkotó betonacélok MSZ EN ISO 15630-2:2011 szabványbeli hegesztés környezeti hajlító vizsgálatának elrendezése

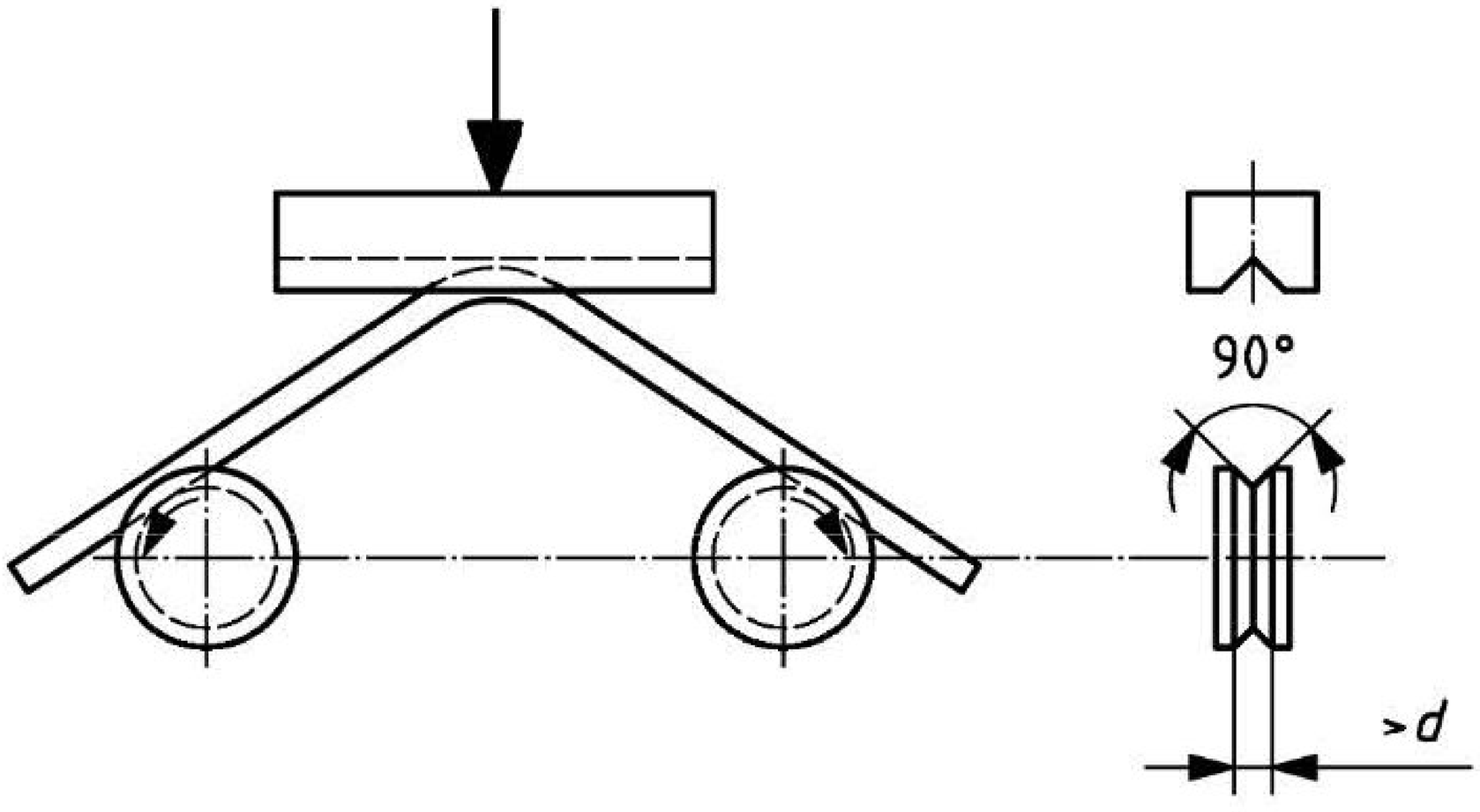
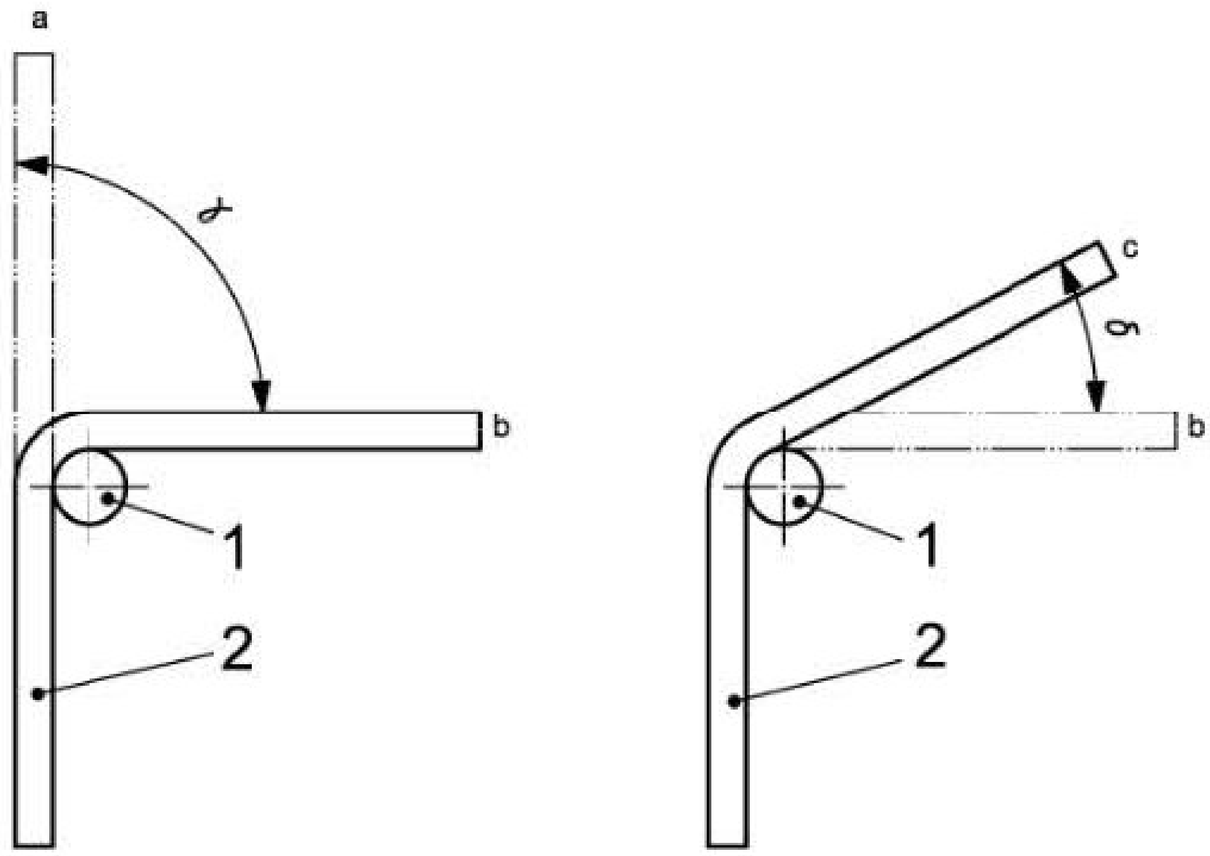


Bild 3 — Beispiel für eine Rückbiegevorrichtung

9./a ábra. Betonacélok MSZ EN ISO 15630-1:2011 szabványbeli vissza-hajlító vizsgálatának változatai



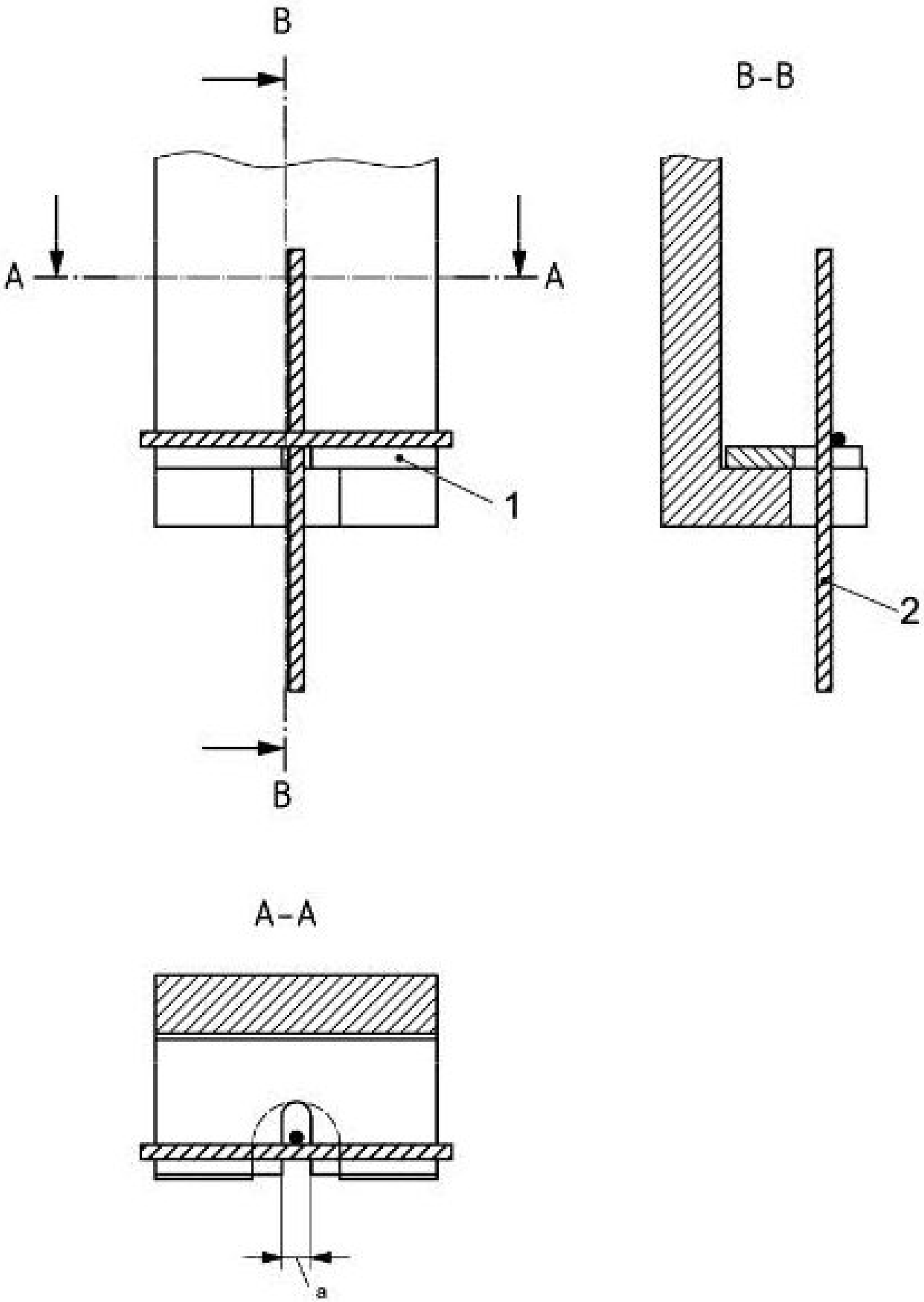
Legende

1 Dorn
2 Probe

a Ausgangsstellung
b Stellung nach dem in 7.3.2 beschriebenen Arbeitsgang
c Stellung nach dem in 7.3.4 beschriebenen Arbeitsgang

Bild 4 — Veranschaulichung des Verfahrens für Rückbiegeversuche

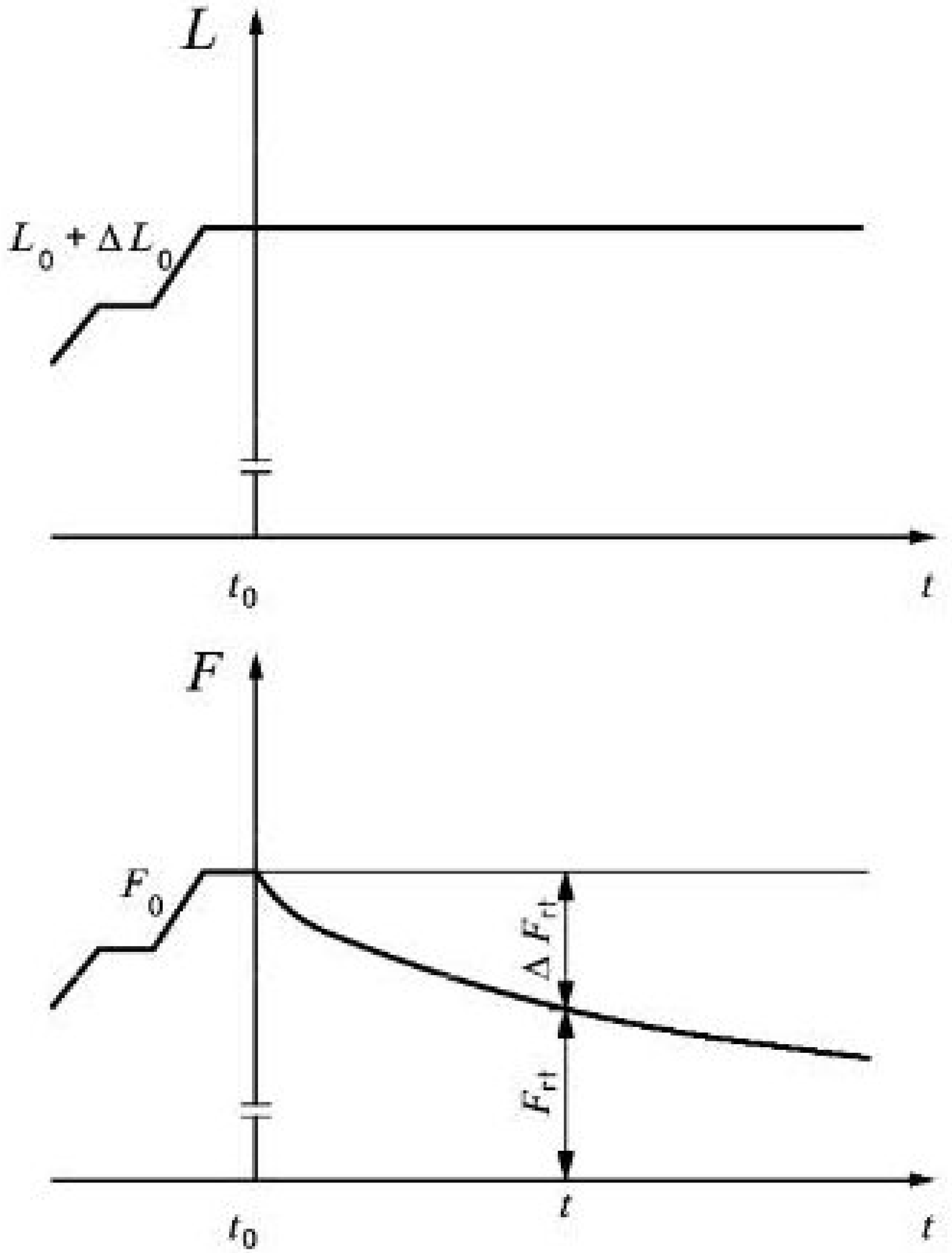
9./b ábra. Betonacélok MSZ EN ISO 15630-1:2011 szabványbeli vissza-hajlító vizsgálatának változatai



a) Beispiel für Halter des Typs a

Bild 3 — Beispiele für Halter der Typen a, b und c *(fortgesetzt)*

10. ábra Hegesztett síkhálók MSZ EN ISO 15630-2:2011 szabványbeli csomóponti nyíró vizsgálatának lehetséges elrendezése

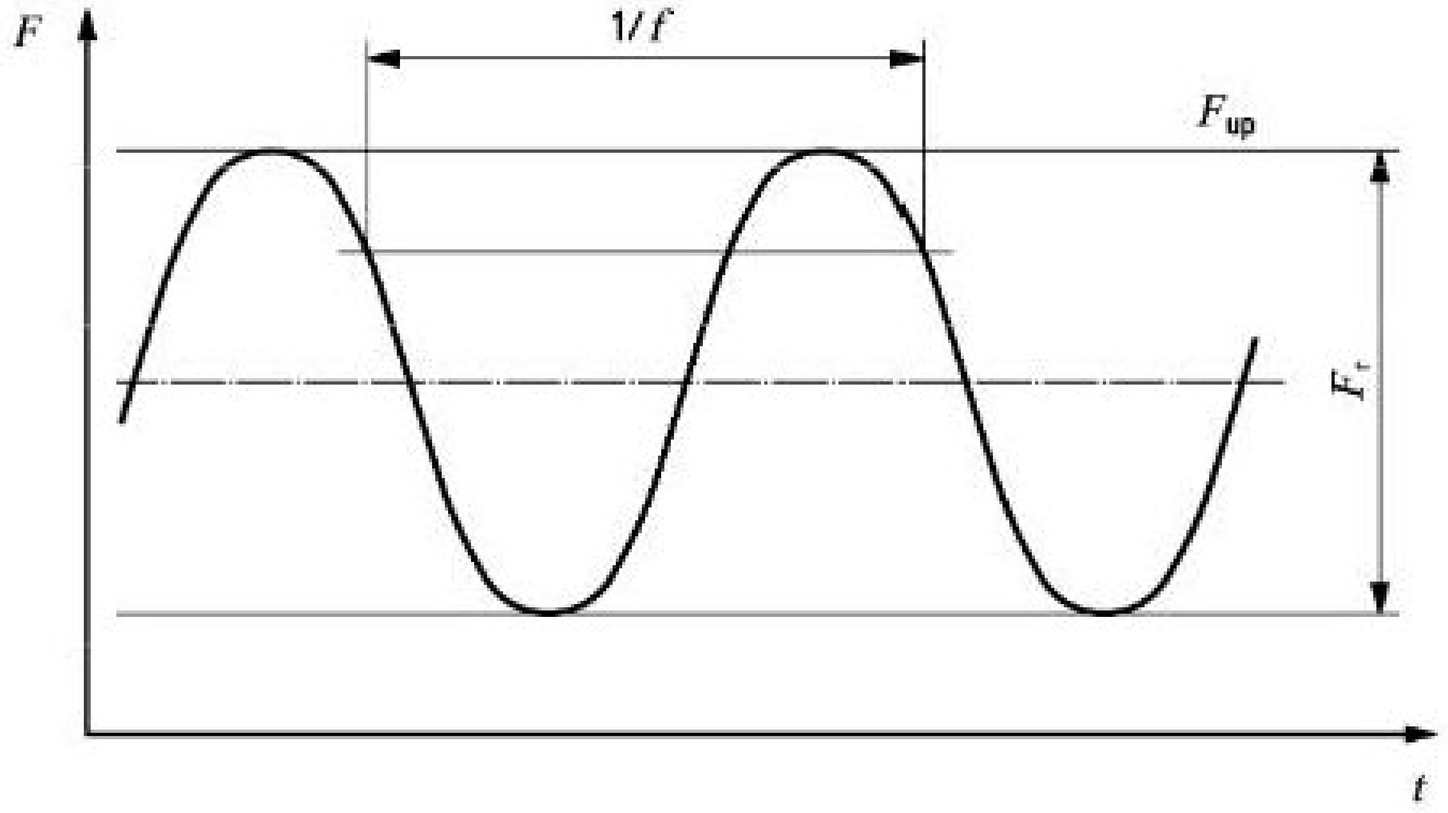


Legende

t Zeit
L Länge
F Kraft

Bild 2 — Prinzip des isothermischen Relaxationsversuches

11. ábra. Feszítőhuzalok MSZ EN ISO 15630-3:2011 szabványbeli izotermikus relaxáció vizsgálatának elve



Legende

F Kraft

t Zeit

Bild 4 — Lastwechsel-Diagramm

12. ábra. Betonacélok MSZ EN ISO 15630-1:2011, hegesztett síkhálók MSZ EN ISO 15630-1:2011, feszítőhuzalok MSZ EN ISO 15630-3:2011 szabványbeli axiális fárasztó vizsgálatának terhelési diagramja

11.3.2 Maße

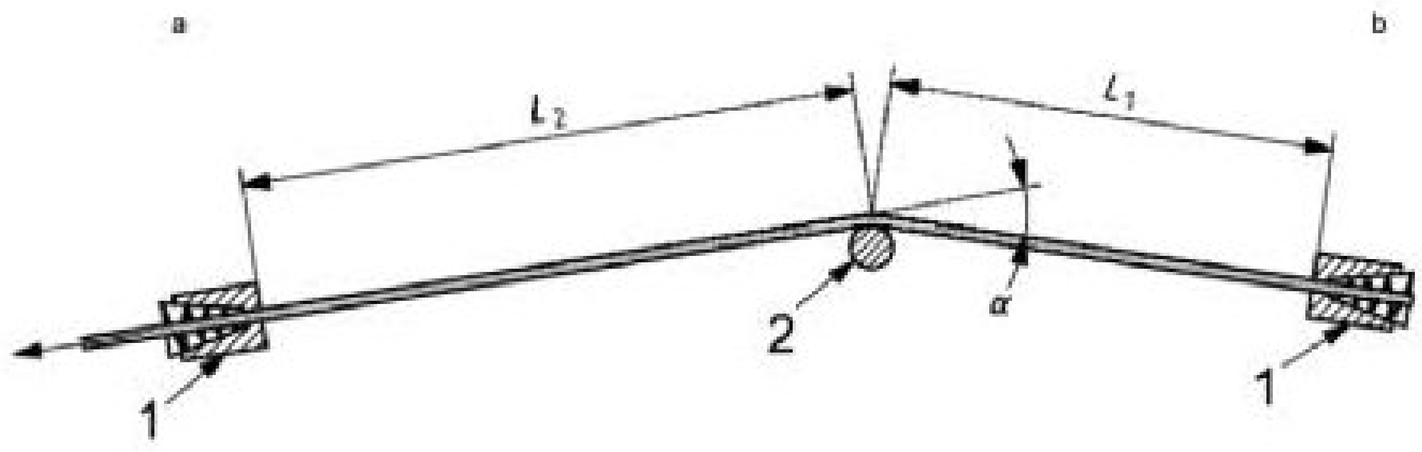
Die Maße der in Bild 5 dargestellten Prüfeinrichtung müssen wie folgt sein:

L_1: (700 ± 50) mm;

L_2: ≥ 750 mm;

α: 20° ± 0,5°.

Die Achse des Domes muss senkrecht zur Ebene liegen, die durch die aktive und die passive Verankerung und die Mitte des Domes gebildet wird.



Legende

1 Verankerung
2 Zentraler Dorn

a Aktive Seite
b Passive Seite

Bild 5 — Hauptmerkmale der Einrichtung für den Umlenk-Zugversuch

13. ábra. Feszítőhuzalok MSZ EN ISO 15630-3:2011 szabványbeli 20°-os törttengelyű húzó vizsgálatának elrendezése

HIDEGEN HÚZOTT FESZÍTŐHUZALLAL KAPCSOLATOS FOGALMAK

A hidegen húzott feszítőhuzal (és betonacél) nem rendelkezik határozott folyáshatárral.

Névleges folyáshatár

Névleges folyáshatárnak tekintjük a teljes alakváltozás 0,5 vagy 1,0 %-ához tartozó feszültséget. A névleges folyáshatárt a σ - ε szakító diagramból úgy kapjuk meg, hogy az $\varepsilon^{\%}$ = 0,5 vagy 1,0 %-os pontból párhuzamost húznak a függőleges tengellyel (ordinátával), amely a görbéből kimetszi a névleges folyáshatárt (*14. ábra*).

Egyezményes folyáshatár

Egyezményes folyáshatárnak a feszítőhuzalok esetén a 0,1 %-os, a hidegen alakított betonacélok esetén a 0,2 %-os maradó nyúlást okozó feszültséget nevezzük.

Az egyezményes folyáshatárt úgy szerkesztik meg, hogy a σ - ε szakító diagram vízszintes tengelyének 0,1 %-os vagy 0,2 %-os pontjából párhuzamost húznak a görbe kezdeti érintőjével (Az előbbire példa a *14. ábrán* látható).

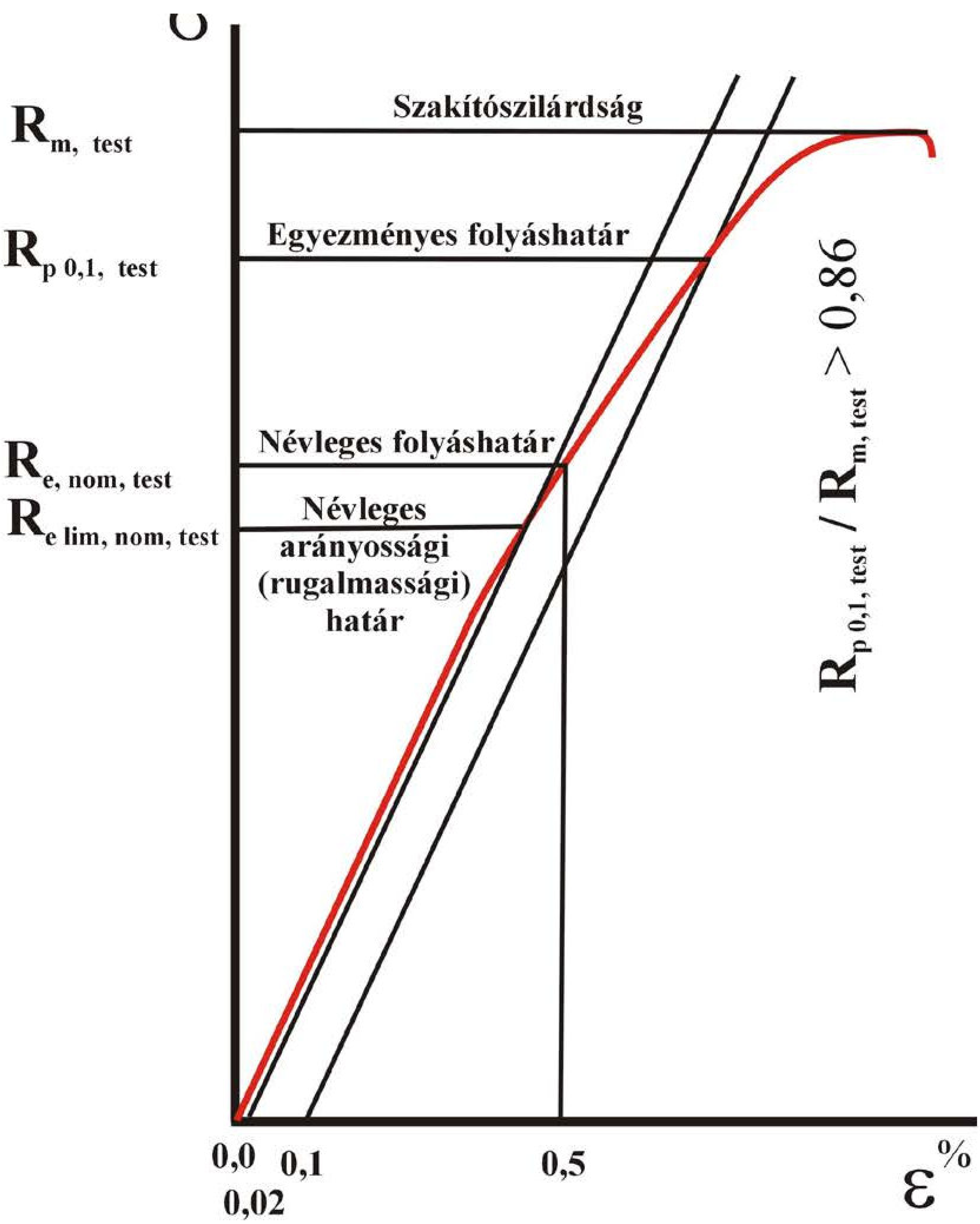
Névleges arányossági határ vagy más néven névleges rugalmassági határ

Névleges arányossági határ a 0,02 %-os maradó nyúlást okozó feszültség.

E határ alatt tehermentesítéskor lényegében csak rugalmas alakváltozások következnek be, de hibahatárként megengedjük a 0,02 %-os maradó alakváltozás felléptét (*14. ábra*).

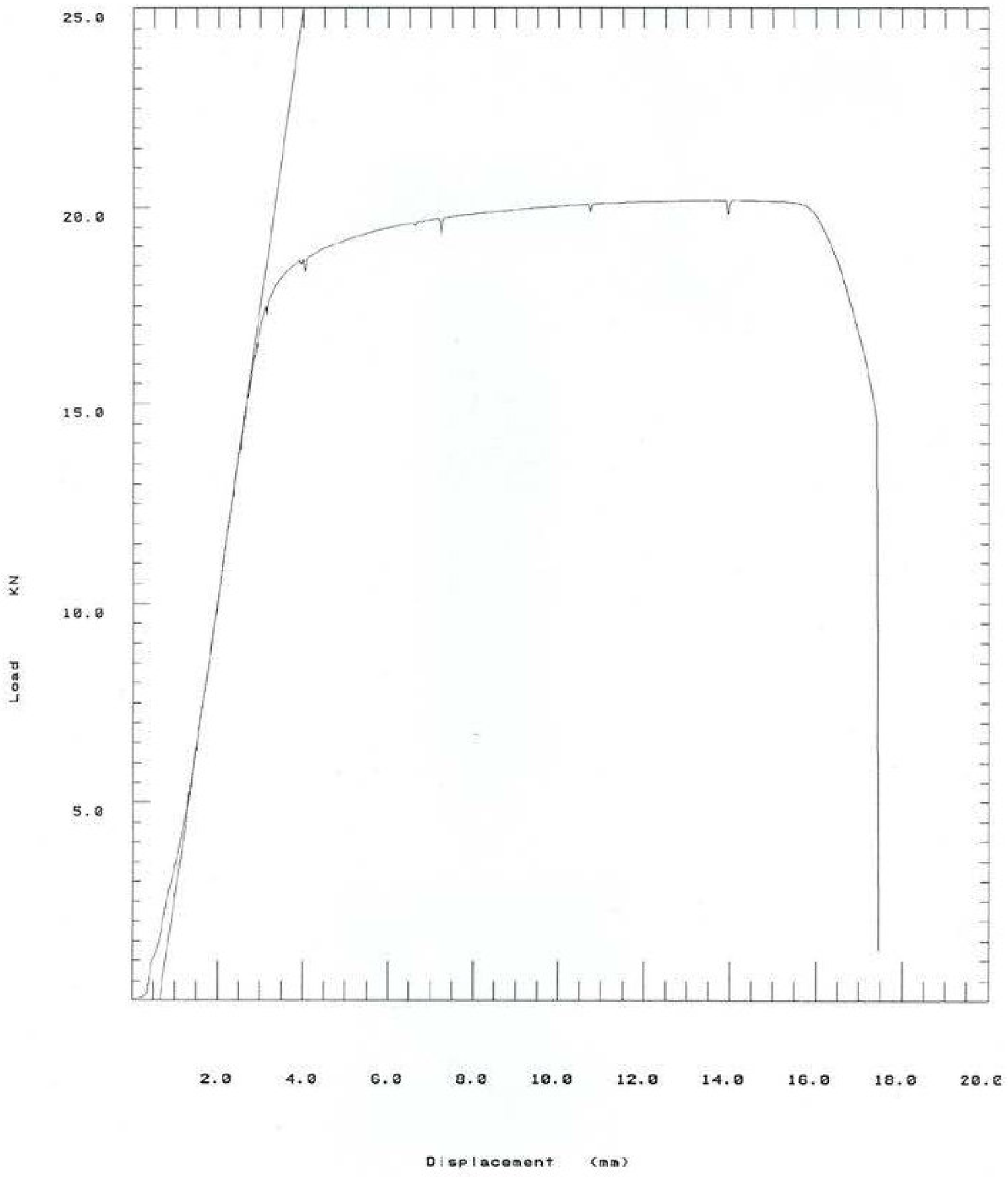
Maradó nyúlás

Maradó nyúlás = Teljes nyúlás - Rugalmas nyúlás



14. ábra. A feszítőhuzal σ - ε görbéjének névleges és egyezményes folyáshatára, névleges arányossági (rugalmassági) határa

A *15. ábrán* példát látunk a hidegen húzott betonacél húzókísérlet alatt felvett szakító diagramjára. A hidegen alakított betonacélnak (és a feszítőhuzalnak) nincs tényleges folyáshatára.

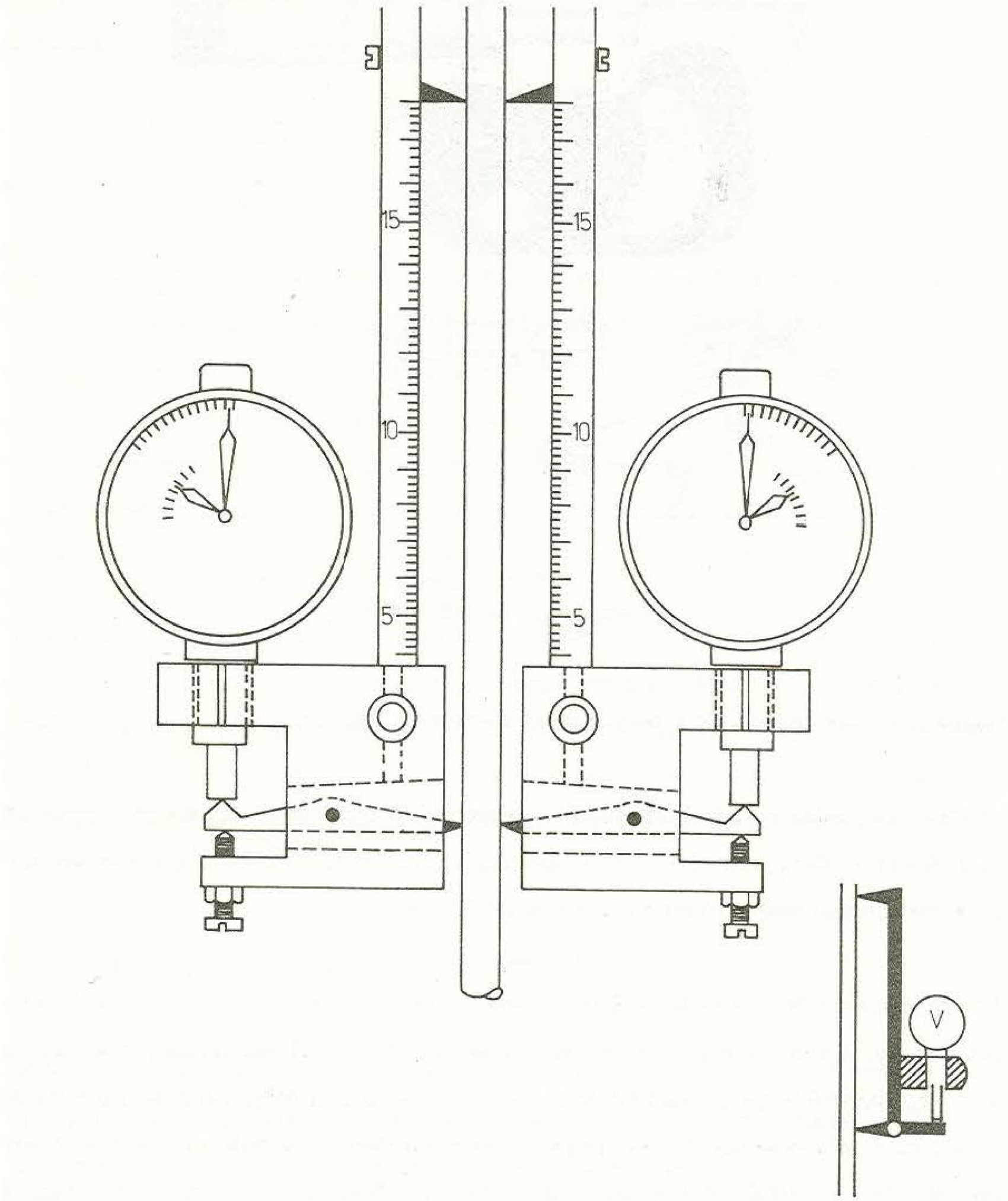


15. ábra. Példa a hidegen húzott betonacél szakító diagramjára

Megjegyzés: A hidegen húzott feszítőhuzalok mellett újabban stabilizált betonfeszítő huzalokat is gyártanak. Az eljárás abból áll, hogy a folyamatosan haladó huzalt kb. a szakítóerő felével megfeszítik, és ebben az állapotban termomechanikus kezelést végeznek. Ezáltal a feszítőhuzal folyáshatára és szakítószilárdsága megnő, relaxációja csökken, beépítési feszültségállapota tartósabb lesz.

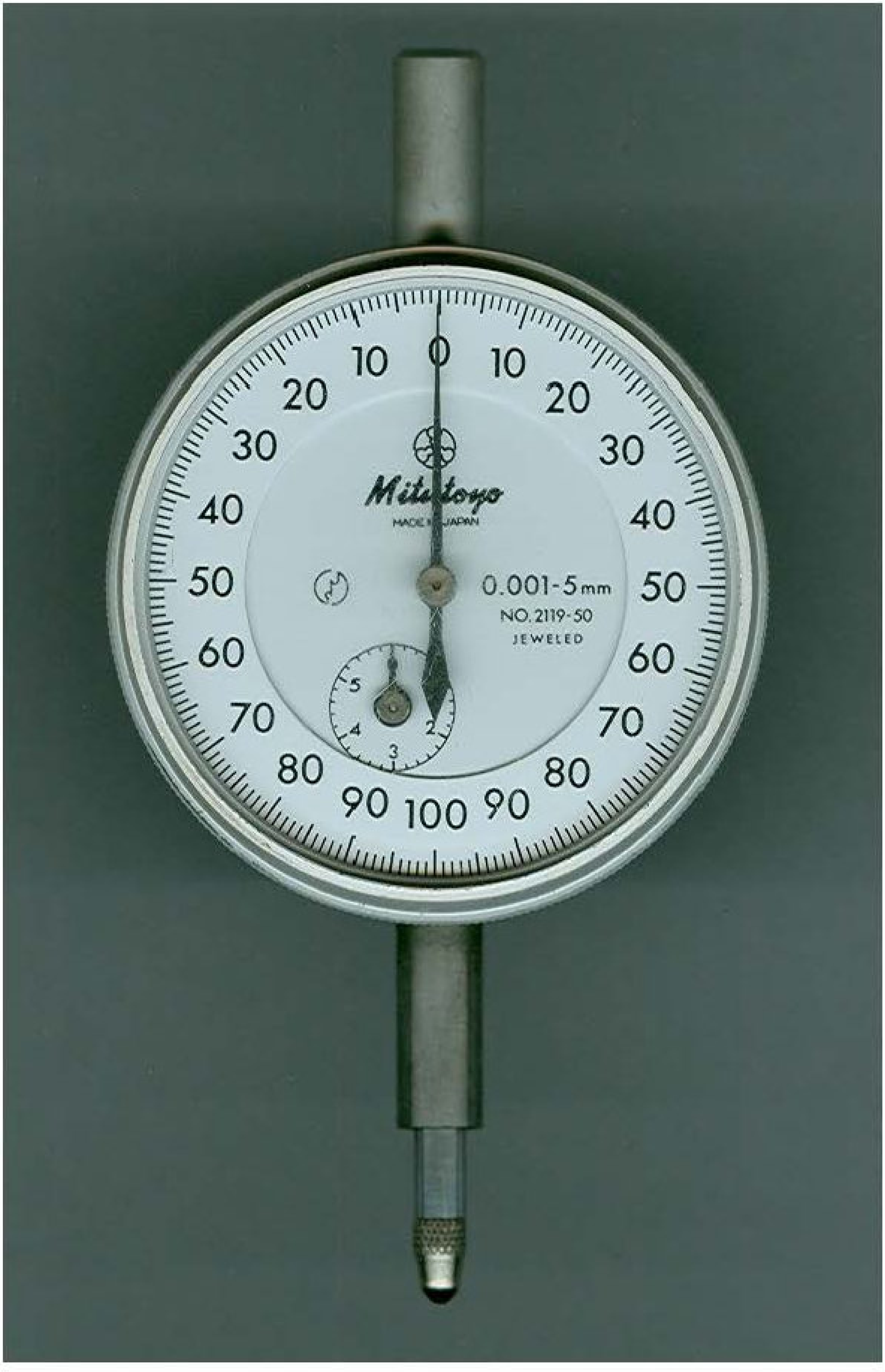
A relaxáció, más néven ernyedés, a kúszás fogalmának inverze (megfordítottja), amely a feszítőerő lassú csökkenését jelenti gátolt alakváltozás mellett.

Példaképpen számítsuk ki a *3. táblázatban* egy hidegen húzott feszítőhuzal erő és — indikátor órákon leolvasott — nyúlás adataiból a σ - ε görbéjének pontjait. A nyúlást a feszítőhuzalra szerelt, két indikátor órás (*17. ábra*) tenzométer elven működő mechanikus nyúlásmérővel, 110 mm alaphosszon mértük úgy, ahogy az *Weiss György* könyvében szerepel (*16. ábra*).



II/25. ábra
Kétórás nyulásmérő

16. ábra. A két indikátor órás mechanikus nyúlásmérő elrendezési rajza.
Forrás: Weiss György: Építőipari laboratóriumi méréstechnika és műszerismeret.
I. kötet. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1974.



17. ábra. Elmozdulás mérő indikátor mérőóra

3. táblázat. Számpélda a feszítőhuzal σ - ε görbéjének felvételére

Feszítőhuzal σ–ε görbéjének felvétele								
F, erő	Óraleolvasás, mm		$\Sigma\Delta l_{bal}$	$\Sigma\Delta l_{jobb}$	$\Sigma\Delta l_{átl}$	$\Sigma\Delta l_{javított}$	ε	σ
kN	bal	jobb	mm		mm	mm	%	N/mm^2
0	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0
6	0,516	0,271	0,000	0,000	0,000	0,164	0,149	305
10	0,629	0,380	0,113	0,109	0,111	0,275	0,250	508
14	0,740	0,490	0,224	0,219	0,222	0,386	0,351	712
18	0,846	0,598	0,330	0,327	0,329	0,493	0,448	915
22	0,953	0,708	0,437	0,437	0,437	0,601	0,547	1118
26	1,068	0,818	0,552	0,547	0,550	0,714	0,649	1322
30	1,119	0,947	0,603	0,676	0,640	0,804	0,731	1525
32	1,302	1,049	0,786	0,778	0,782	0,946	0,860	1627
34	1,770	1,512	1,254	1,241	1,248	1,412	1,283	1729

Órák nullázása úgy, hogy az egyes óraleolvasásokból kivonjuk a kezdő óraleolvasást.
Példa:
1,770-0,516=1,254

Előző két oszlop átlaga.

Kezdő nyúlás értékének javítása hasonló három-szögekből.
Példa:

$\Sigma\Delta l_{javított}$ osztva az L_o mérési alap-hosszal.
Példa:

$$\frac{1,412}{L_0 = 110} * 100 = 1,283$$

F erő [N] osztva a névleges kereszt-metszettel (19,67 mm^2)

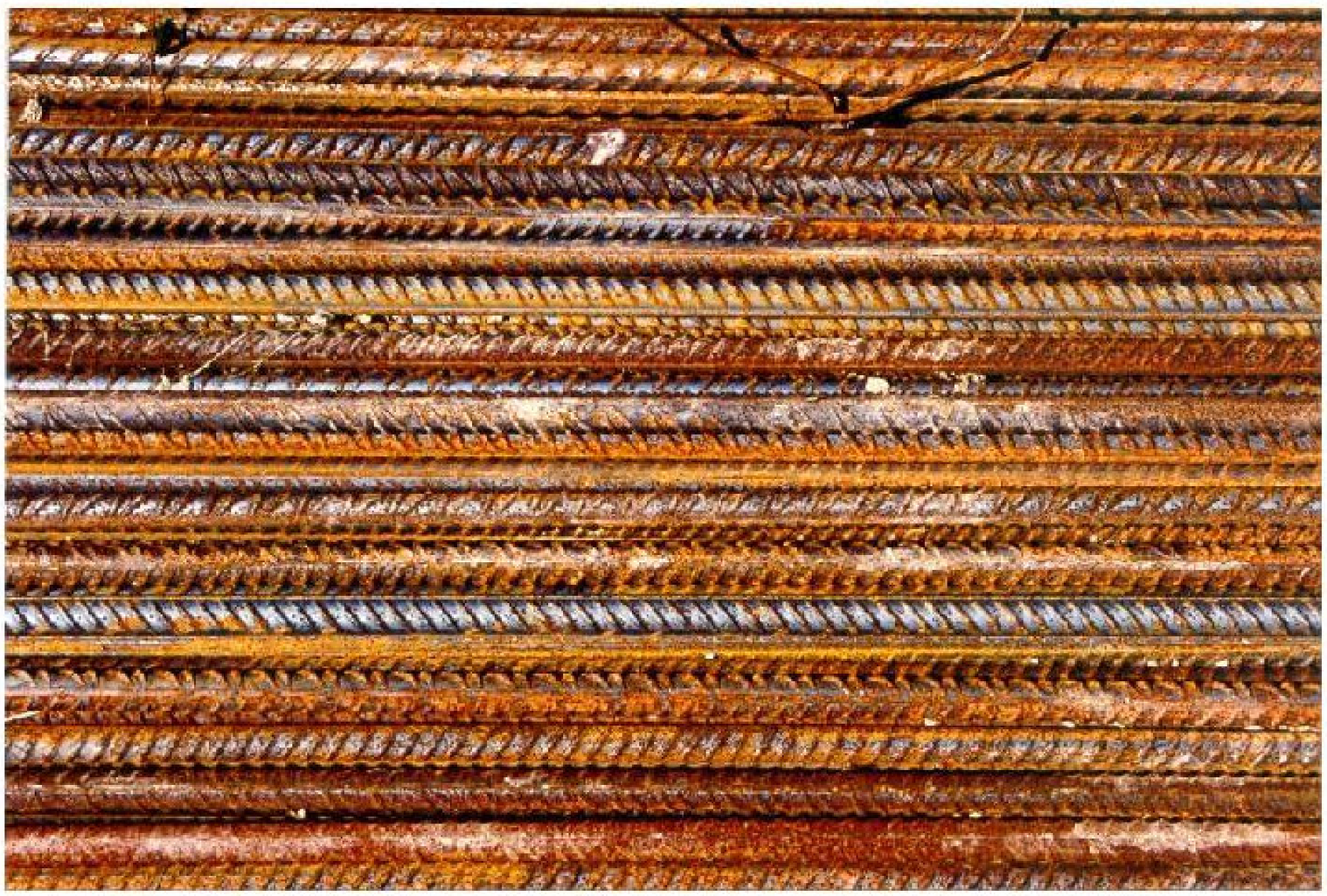
$$\Delta l_{kezdő,\ javított} = F_{kezdő} * \frac{\Sigma\Delta l_{átlag}}{F}$$

A számpélda esetén:

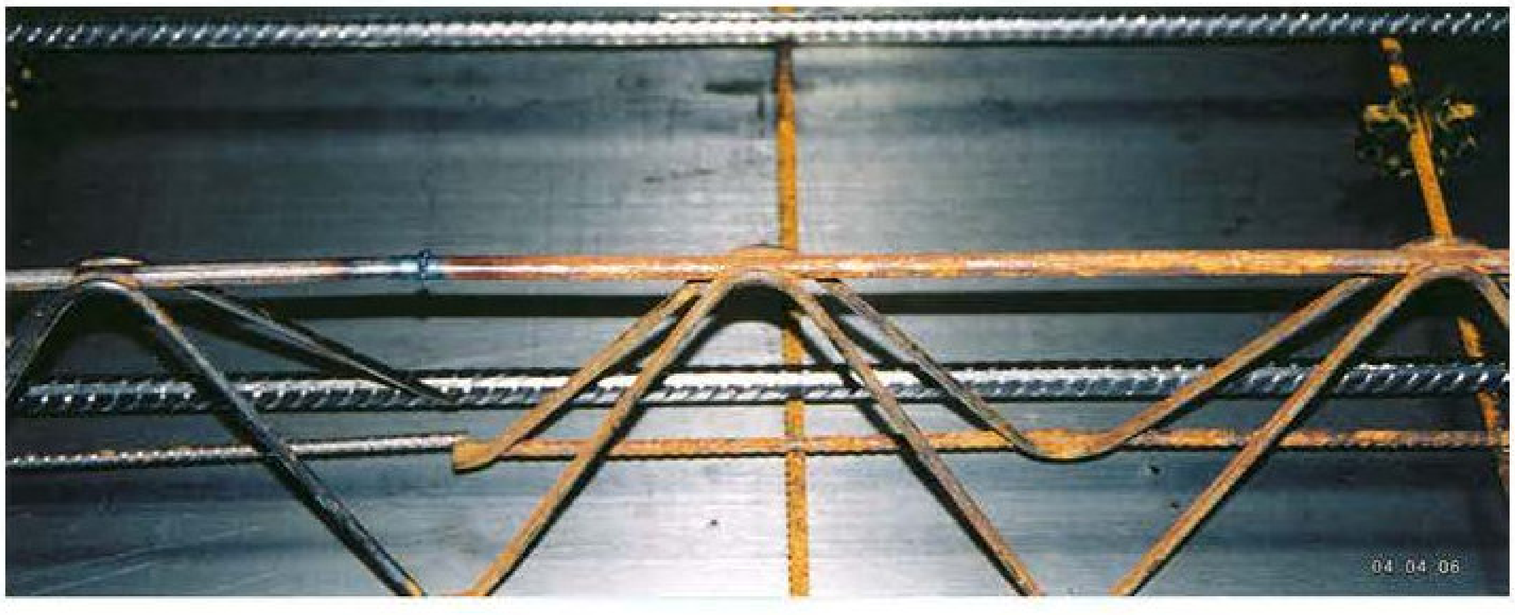
$$0,164 = 6 * \frac{0,329 - 0,000}{18 - 6}$$

FÉNYKÉPEK BETONACÉLOKRÓL

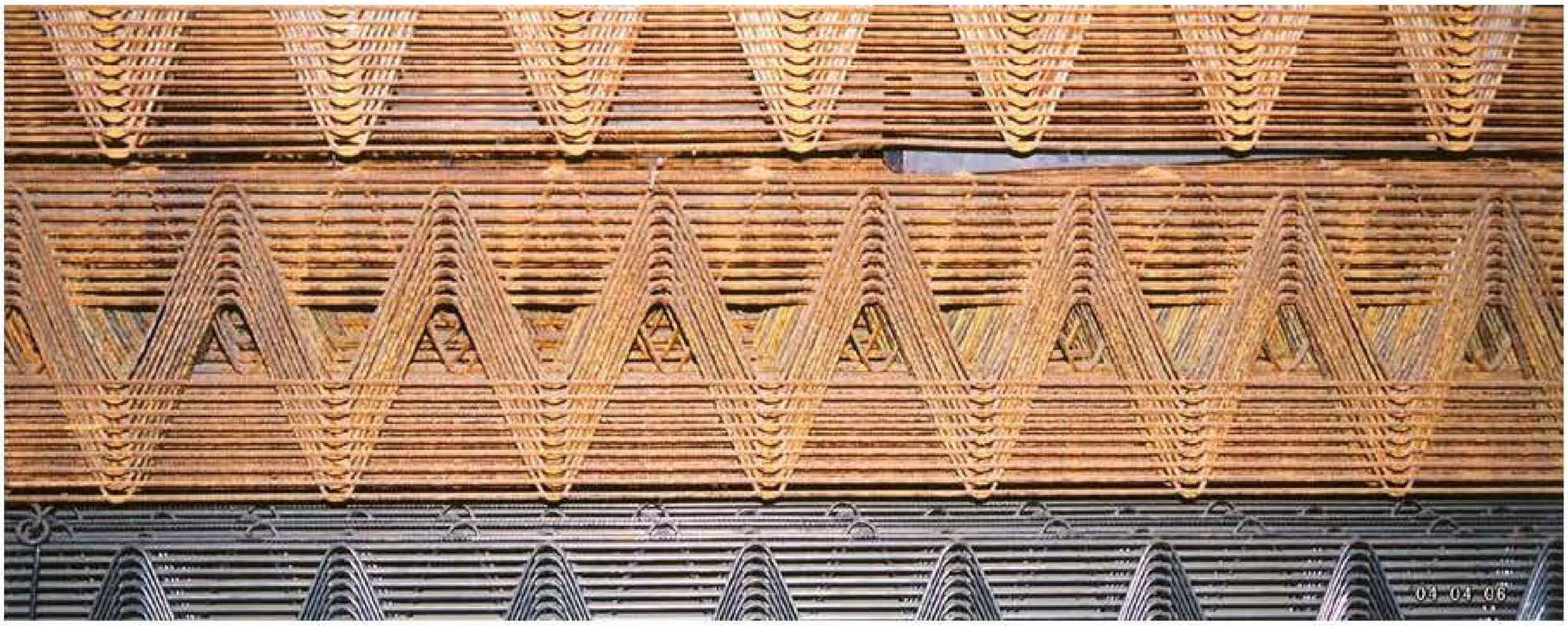
18. ábra. Betonacél tekercsek



19. ábra. Szabadban tárolt bordás betonacél



20. ábra. Hegesztett betonacél szerelvény

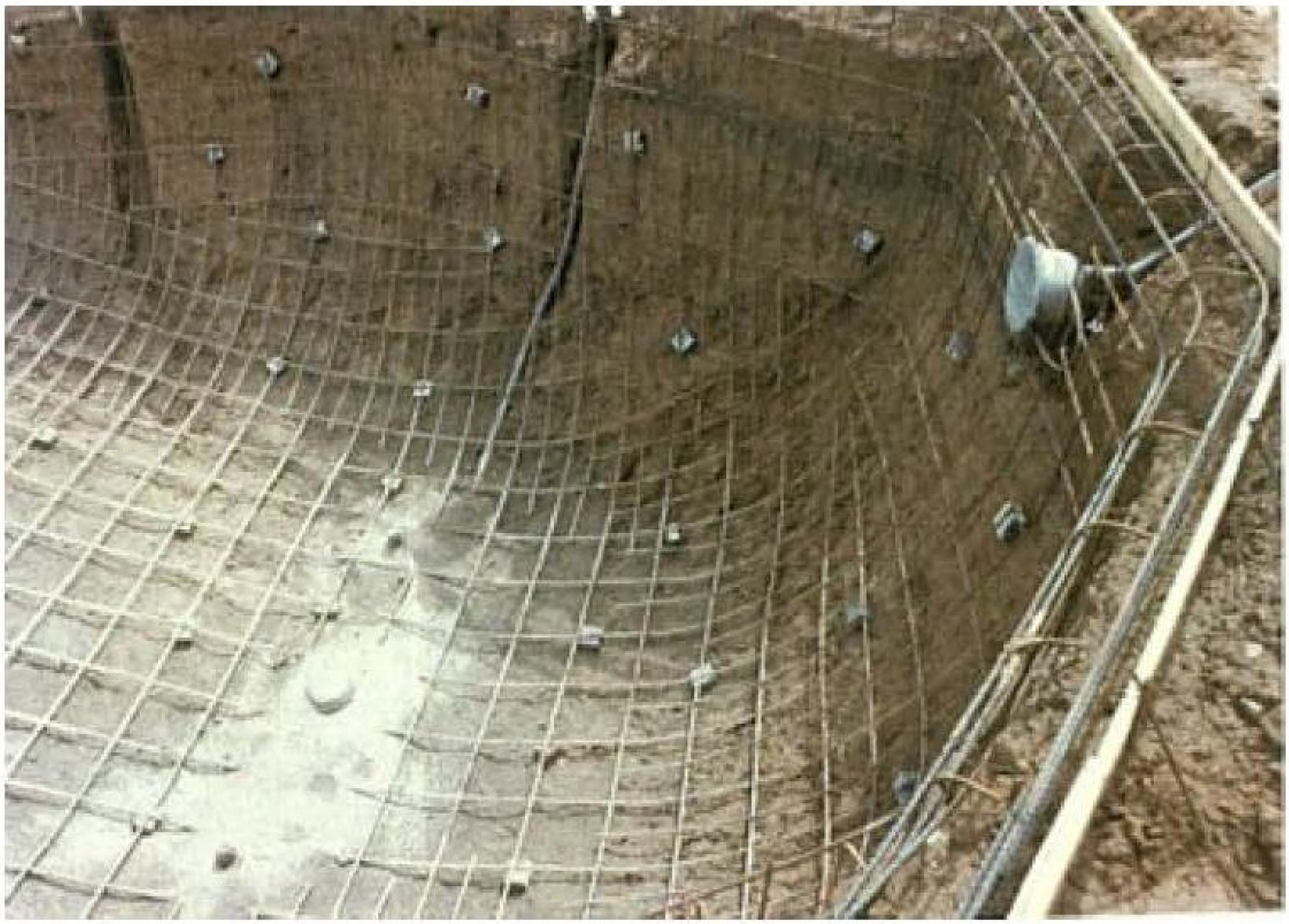


21. ábra. Hegesztett betonacél szerelvények a tárolótéren

22. ábra. Hegesztett betonacél szerelvények a tárolótéren

23. ábra. Hegesztett betonacél szerelvények a tárolótéren

24. ábra. Monolit vasszerelés, kötözött csomópontokkal



25. ábra. Szabálytalan alakú úszómedence hátbetonjának vasszerelése

26. ábra. Szabálytalan alakú úszómedence hátbetonjának vasszerelése

27. ábra. Vasszerelés, Budapest IX. Lechner Ödön fasor (2007)

28. ábra. Vasszerelés, Budapest IX. Lechner Ödön fasor (2007)

29. ábra. Vasszerelés, Budapest VIII. Blaha Lujza tér (2008)

--

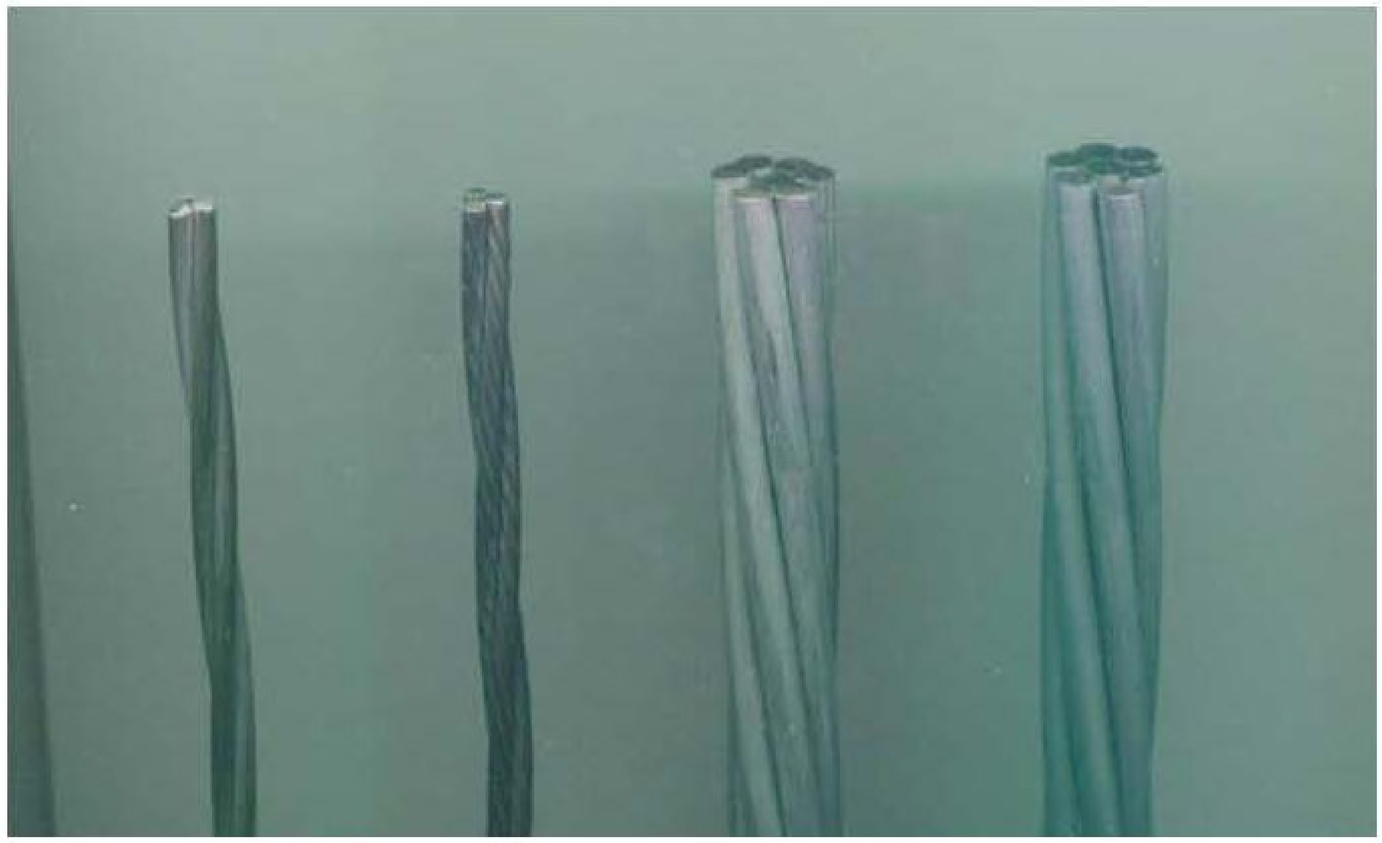
30. ábra. Vasszerelés, Budapest VIII. Blaha Lujza tér (2008)

FÉNYKÉPEK FESZÍTŐHUZALOKRÓL

31. ábra. Kerámia burkolatú feszített vasbeton födémgerenda gyártása

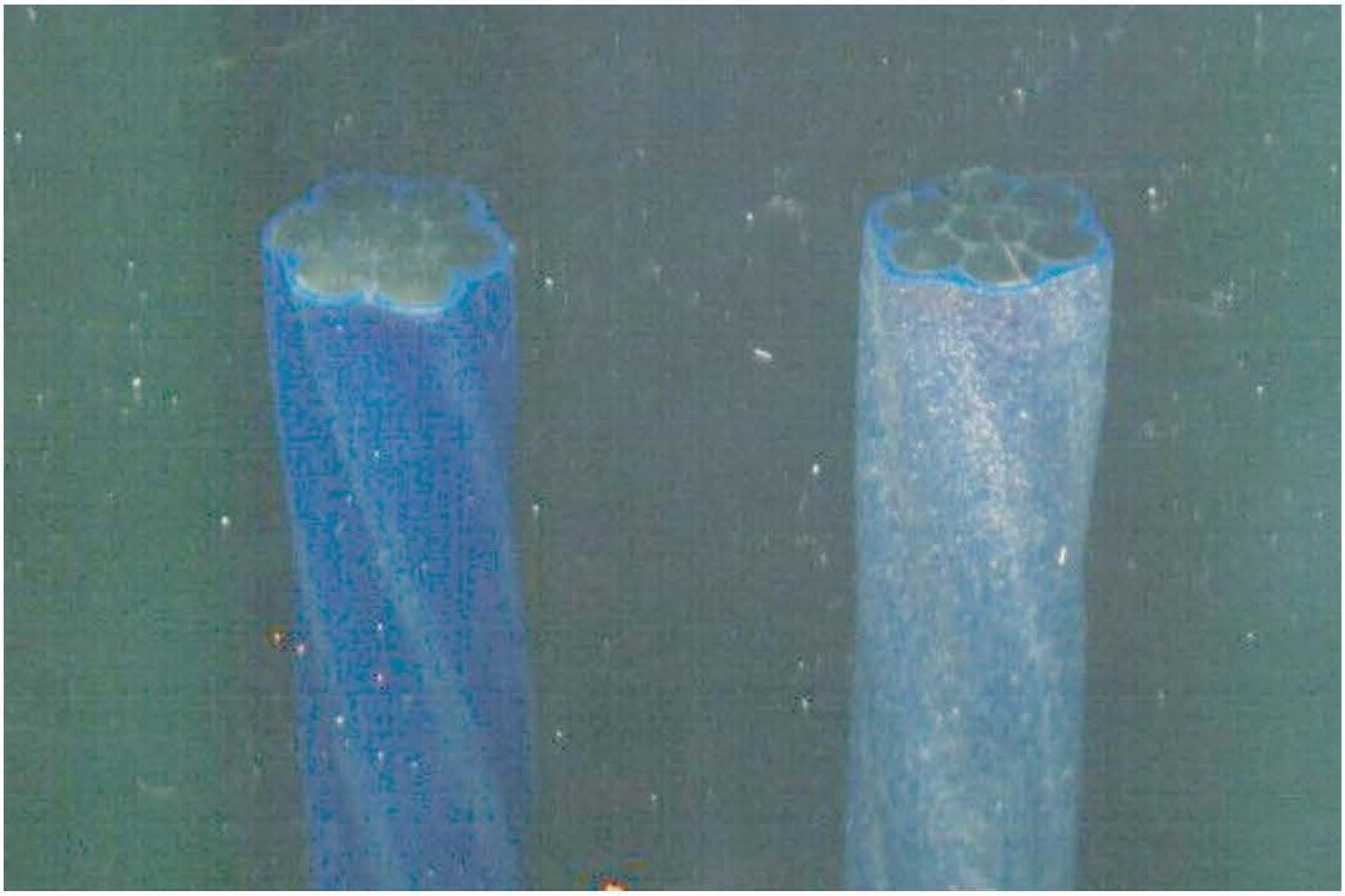
32. ábra. Feszítőhuzalok lehorgonyzása

FÉNYKÉPEK FESZÍTŐPÁSZMÁKRÓL



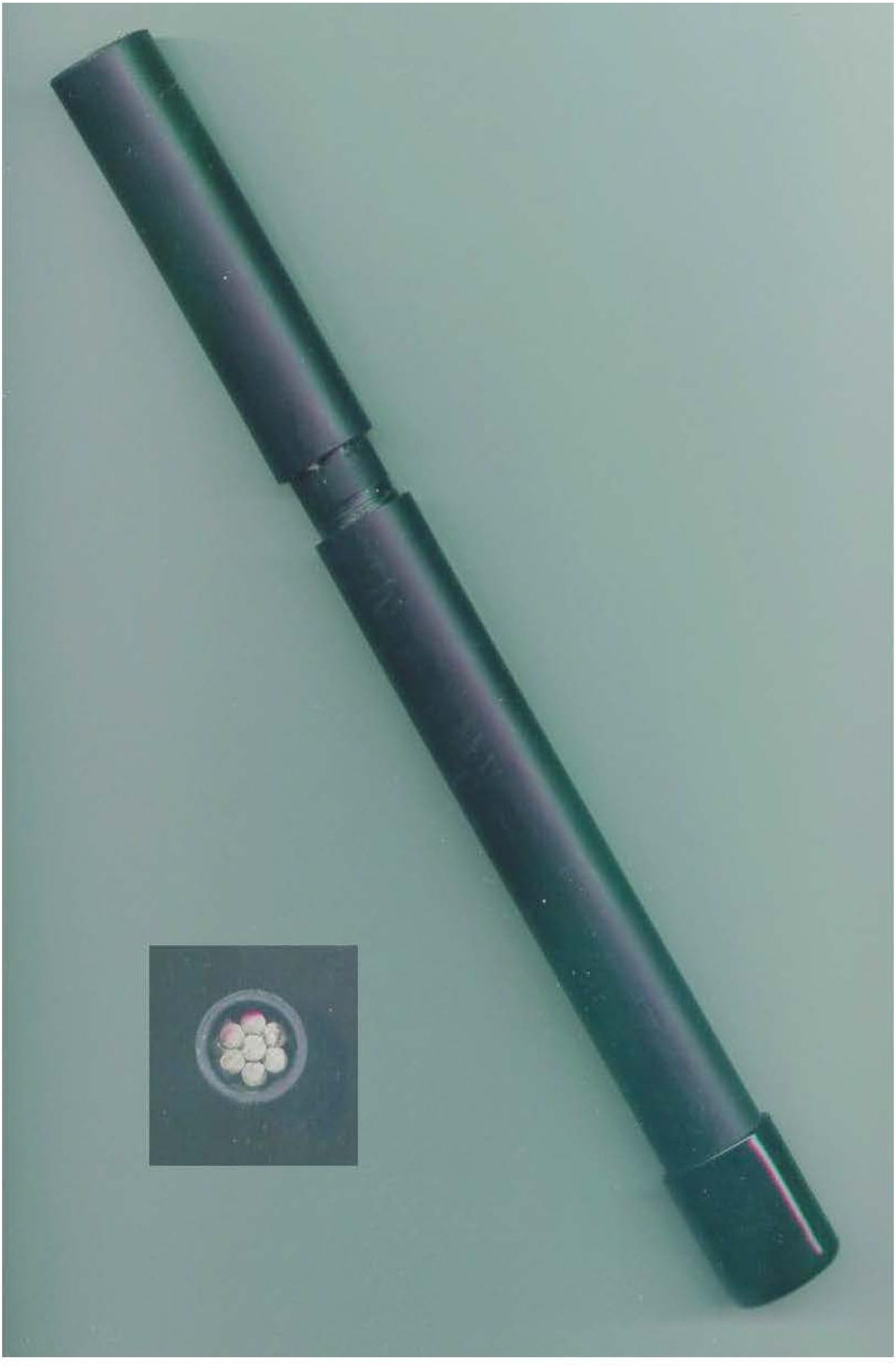
33. ábra. Három és hét eres feszítőpászmák

34. ábra. Három és hét eres feszítőpászmák,
a jobb szélső korrózió elleni bevonattal ellátva



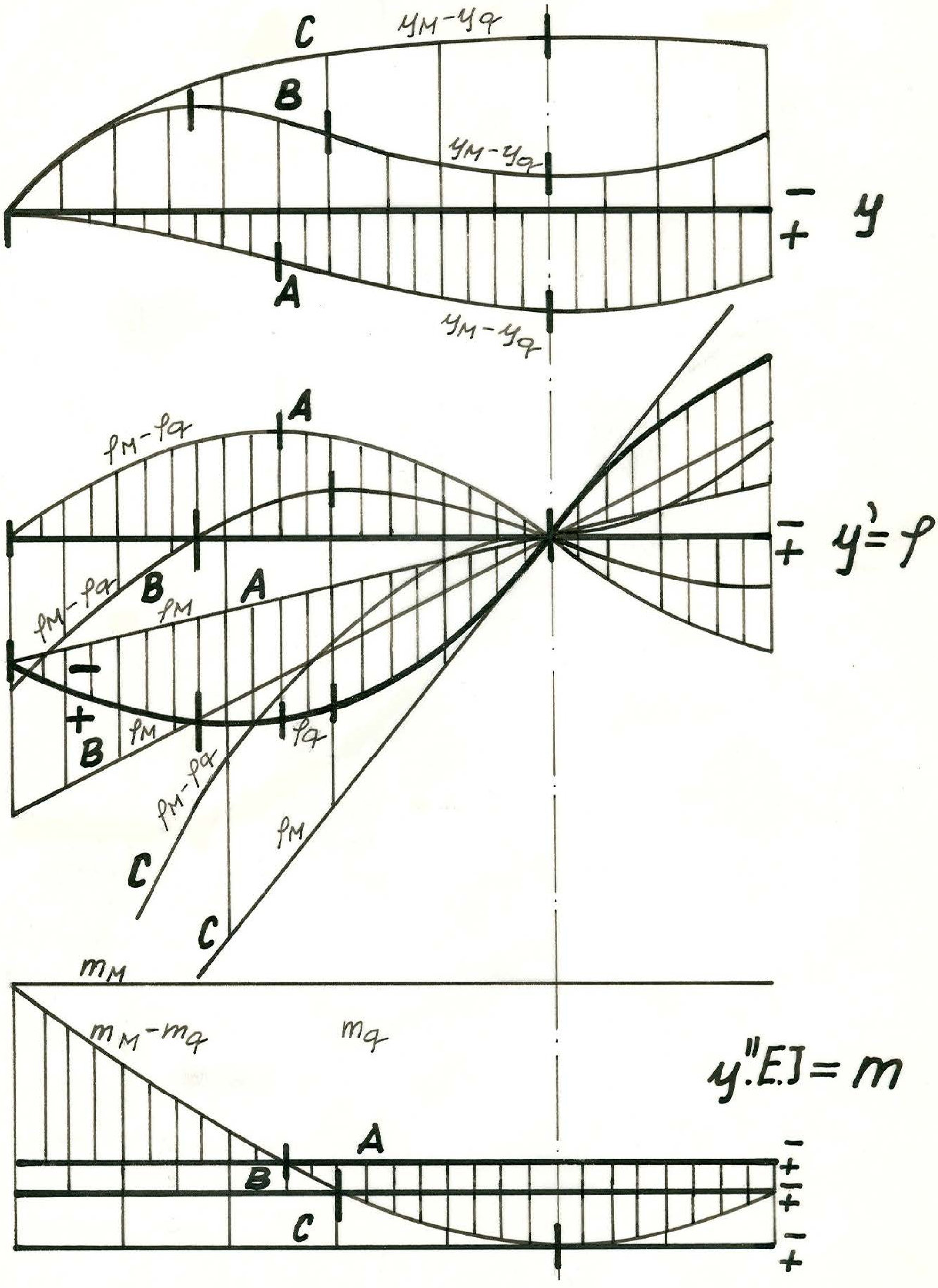
35. ábra. Korrózió elleni bevonattal ellátott hét eres feszítőpászmák

36. ábra. Korrózió elleni bevonattal ellátott héteres feszítőpászma

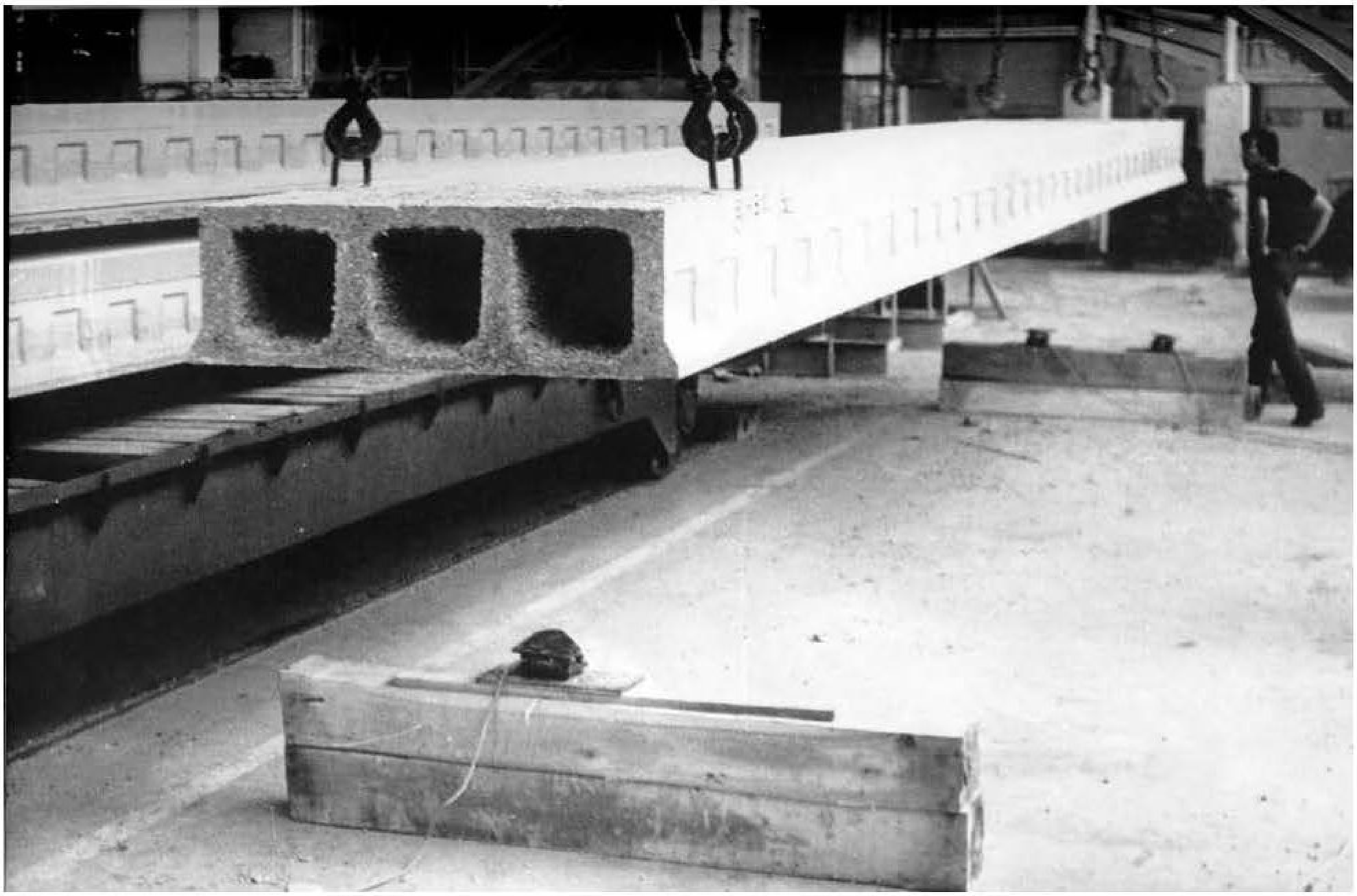


37. Feszítőpászma korrózió elleni védőcsőben

A felhajlási, szögforgási és nyomatéki ábrák vázlata



38. Vasbetontartó feszítésének értelme



39. ábra. Héteres pászmákkal feszített Span-Deck vasbeton födémpalló (1976)

40. ábra. Munkagödör vasbeton falának hátrahorgonyzása feszítőpászmákkal, Budapest, IX. Lechner Ödön fasor (2007)

41. ábra. Acélszerkezeti függesztő-kábelek pászmáinak lehorgonyzása

42. ábra. Acélszerkezeti függesztőkábelek pászmáinak lehorgonyzása

Felhasznált irodalom

Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.

Erdélyi Attila – Lipták Sándor: Az acélbetétek követelményrendszere és választéka. Betonévkönyv 1988/1999. ÉTK – MÉASZ kiadvány. pp. 34 – 54.

Deák György – Draskóczy András – Dulácska Endre – Kollár László – Visnovitz György: Vasbeton-szerkezetek. Tervezés az Eurocode alapján. Statikai kisokos. Springer Media Magyarország Kft. Budapest, 2004.

Fernezelyi Sándor – Matuscsák Tamás: Épületek teherhordó szerkezetei. aktuális szerkezeti megoldások tervezőknek, kivitelezőknek. 1. kötet. Verlag Dashöfer Szakkiadó Kft. Budapest, 2005.

Palotás László: Fa – kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Weiss György: Építőipari laboratóriumi méréstechnika és műszerismeret. I. kötet. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1974.

MSZ 112:1958 Melegen hengerelt hídszerkezeti acél
Visszavont szabvány

MSZ 339:1987 Melegen hengerelt betonacél
Ma is érvényes nemzeti szabvány

MSZ 339:2008 Javaslat Betonacélok. Melegen hengerelt betonacél, hidegen alakított betonacélhuzal, gépi hegesztéssel készített síkhálók és térbeli rácsos tartók. Követelmények
Nem adták ki

MSZ 465:1987 Feszítőpászma feszített vasbeton szerkezetekhez
Ma is érvényes nemzeti szabvány

MSZ 500:1974 és :1989 Általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acél
Visszavont szabvány

MSZ 982:1987 Hidegen alakított betonacélhuzal
Ma is érvényes nemzeti szabvány

MSZ 5720:1979 és :1993 Feszítőhuzal feszített vasbeton szerkezetekhez
Ma is érvényes nemzeti szabvány

MSZ EN 1992-1-1:2005 Eurocode 2. Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
Jelzet ma: MSZ EN 1992-1-1:2010 és
MSZ EN 1992-1-1:2004/A1:2016

MSZ EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2. Betonszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre
Jelzet ma: MSZ EN 1992-1-2:2013

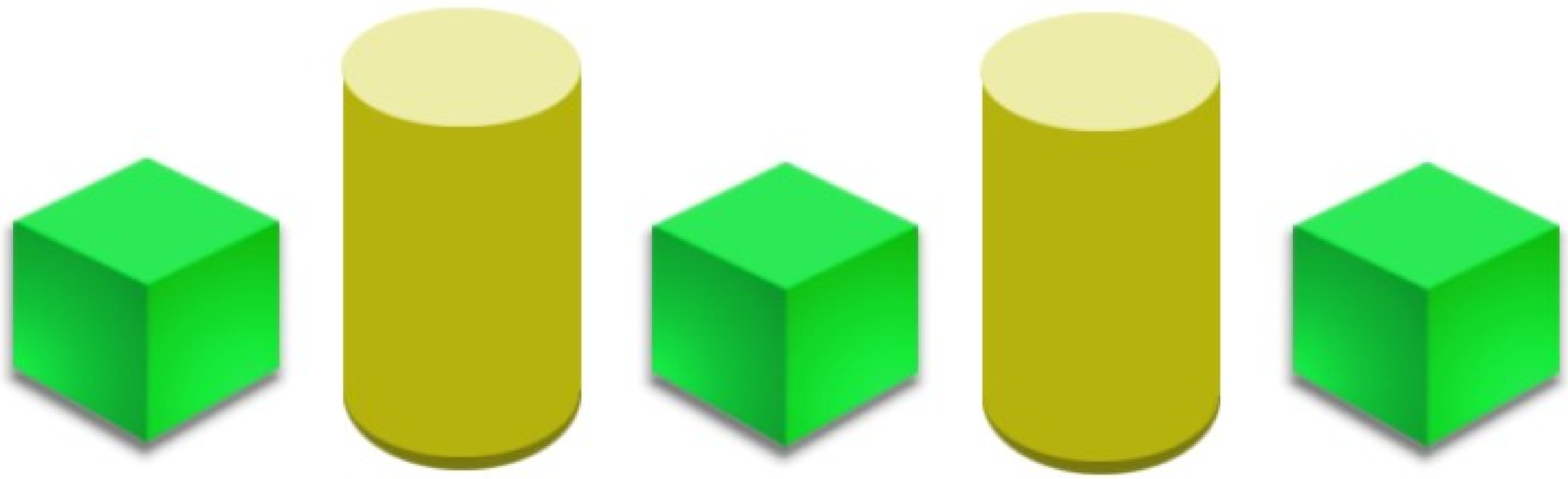
MSZ EN 10025-1:2005	Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból. 1. rész: Általános műszaki szállítási feltételek
MSZ EN 10025-2:2005	Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból. 2. rész: Ötvözetlen szerkezeti acélok műszaki szállítási feltételei
MSZ EN 10027-1:2006	Acélok jelölési rendszere. 1. rész: Az acélminőségek jele
MSZ ENV 1993-1-1:1995	Eurocode 3. Acélszerkezetek tervezése. 1-1 rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok Jelzet ma: MSZ EN 1993-1-1:2009
prEN 10080-1:2004	Acél vasbeton szerkezethez. Hegeszthető betonacél. 1. rész: Általános követelmények Jelzet és cím ma: MSZ EN 10080:2005 Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények
MSZ EN 10080:2005	Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények
prEN 10138-1:2000	Feszítő acélok. 1. rész: Általános követelmények Elérhető, érvényes német változata (Beuth Verlag): DIN EN 10138-1:2000 Entwurf. Spannstähle. Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 10138-1:2000 Megjegyzés: Például az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány „EN 10138” alakban számos helyen hivatkozik rá.
prEN 10138-2:2000	Feszítő acélok. 2. rész: Feszítőhuzalok Elérhető, érvényes német változata (Beuth Verlag): DIN EN 10138-2:2000 Entwurf. Spannstähle. Teil 2: Draht; Deutsche Fassung prEN 10138-2:2000 Megjegyzés: Például az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány „EN 10138” alakban számos helyen hivatkozik rá.
prEN 10138-3:2000	Feszítő acélok. 3. rész: Pászmák Elérhető, érvényes német változata (Beuth Verlag): DIN EN 10138-3:2000 Entwurf. Spannstähle. Teil 3: Litze; Deutsche Fassung prEN 10138-3:2000 Megjegyzés: Például az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány „EN 10138” alakban számos helyen hivatkozik rá.
prEN 10138-4:2000	Feszítő acélok. 4. rész: Rudak Elérhető, érvényes német változata (Beuth Verlag): DIN EN 10138-4:2000 Entwurf. Spannstähle. Teil 4: Stäbe; Deutsche Fassung prEN 10138-4:2000 Megjegyzés: Például az MSZ EN 1992-1-1:2010 Eurocode 2 szabvány „EN 10138” alakban számos helyen hivatkozik rá.

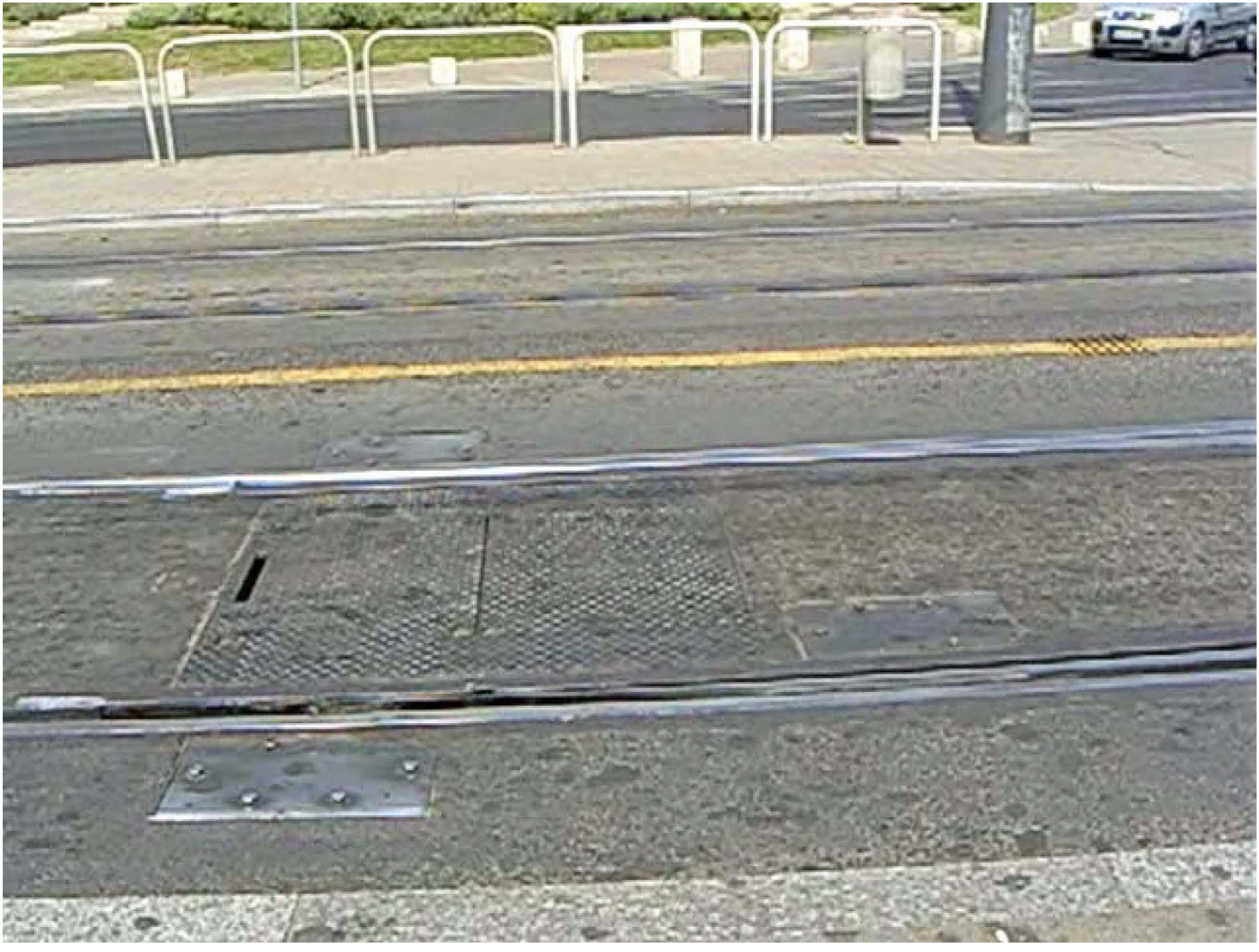
MSZ EN ISO 15630-1:2011	Betonacél és feszítőacél. Vizsgálati módszerek. 1. rész: Betonacél rúd és huzal (ISO 15630-1:2010)
MSZ EN ISO 15630-2:2011	Betonacél és feszítőacél. Vizsgálati módszerek. 2. rész: Hegesztett síkháló (ISO 15630-2:2010)
MSZ EN ISO 15630-3:2011	Betonacél és feszítőacél. Vizsgálati módszerek. 3. rész: Feszítőacél (ISO 15630-3:2010)
EN 10027-1:2005 (D)	Bezeichnungssysteme für Stähle – Teil 1: Kurznamen
DIN EN 10080:2005	Stahl für die Bewehrung von Beton. Schweißgeeigneter Betonstahl. Allgemeines. Deutsche Fassung EN 10080:2005
DIN 488-1:1984	Betonstahl. Sorten, Eigenschaften, Kennzeichen
DIN 488-3:1984	Betonstahl. Betonstabstahl. Prüfungen
ISO 7801:1984	Metallic materials. Wire. Reverse bend test

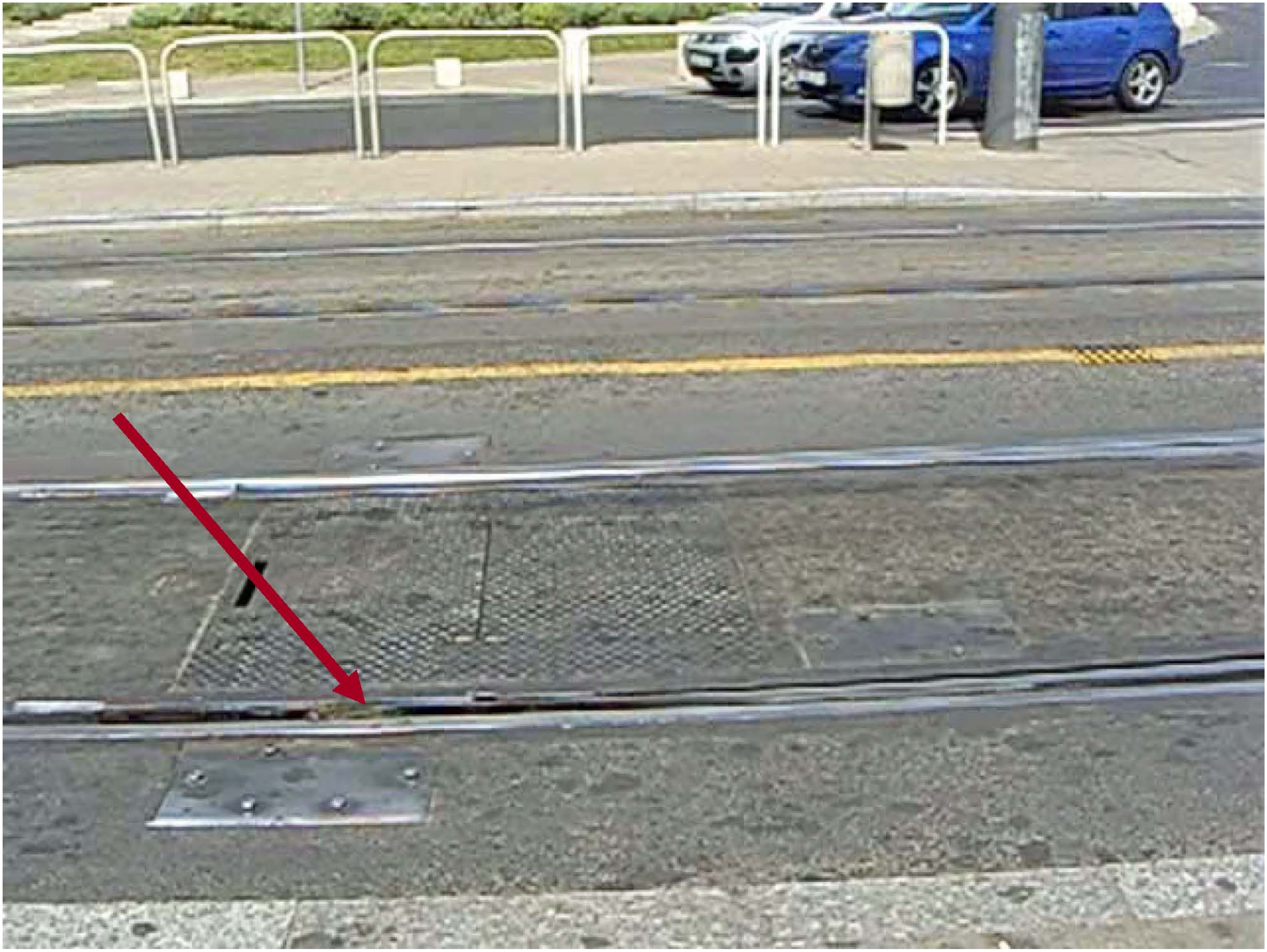
KÉRJÜK TEKINTSE MEG

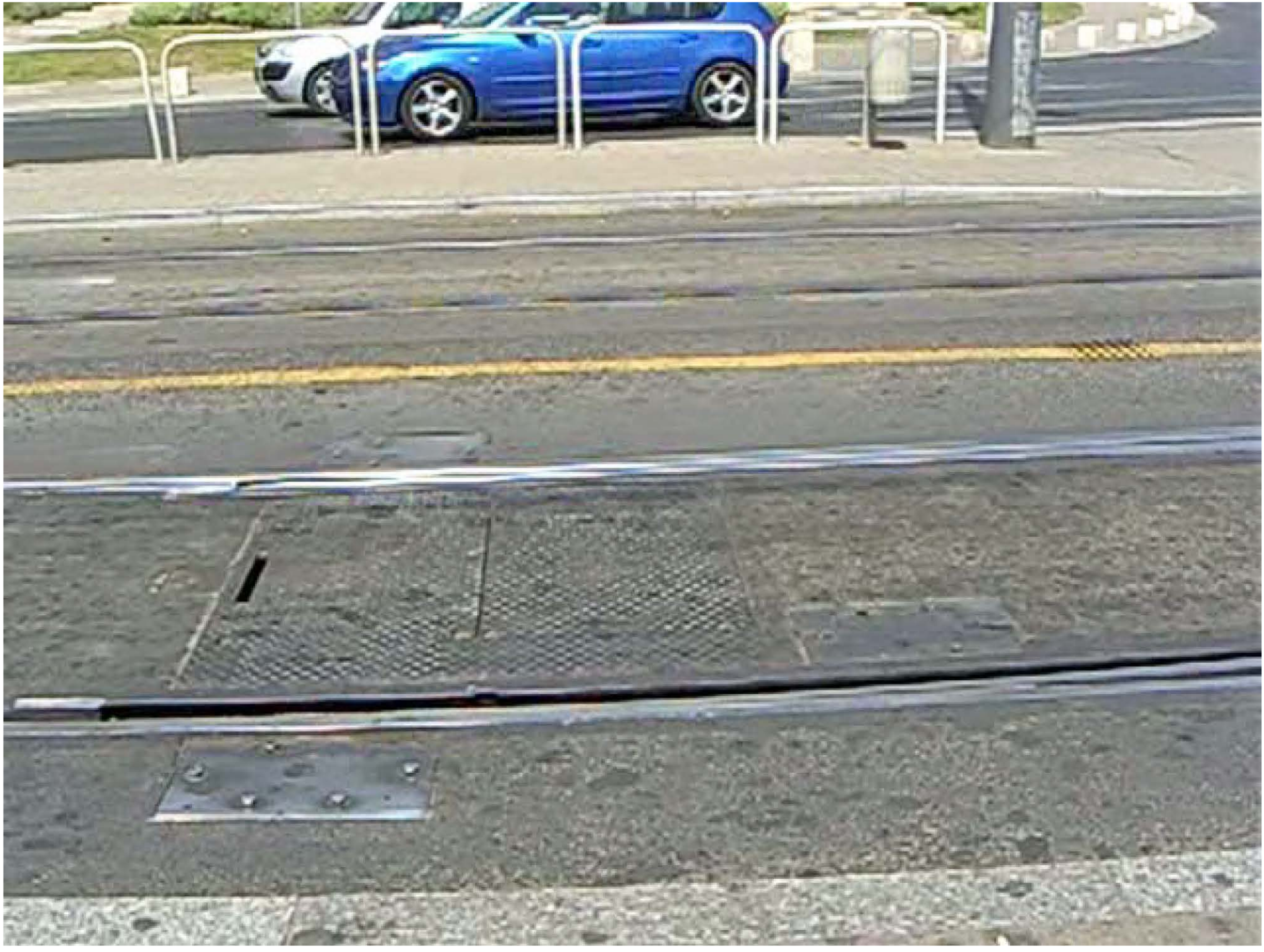
„AZ ACÉLGYÁRTÁS TERMÉKEINEK (ÉS MELLÉKTERMÉKEINEK)

RÖVID ISMERTETÉSE” CÍMŰ DOLGOZATOT IS.





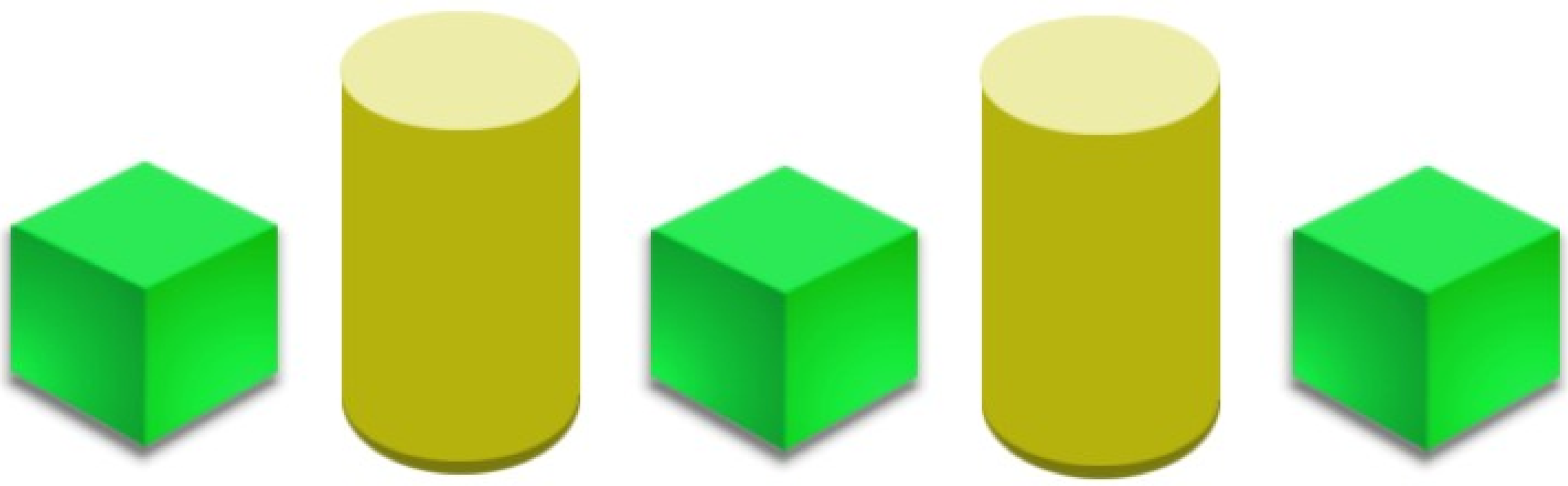




A csúcssín rugalmasan hajlik.

A hengerelt sínacél

- **rugalmassági modulusa $2{,}15 \cdot 10^5$ N/mm^2,**
- **folyási határa legalább 540 N/mm^2,**
- **szakítószilárdsága legalább 900 N/mm^2.**



A 10 mm átmérőjű alumínium rúd hőtágulásának mérése L=120 mm alaphosszon, indikátor órák és termoelem alkalmazásával

Idő	Indikátor óra leolvasás, mm			ε ‰	Hőmérséklet
perc	bal	jobb	Δl, átlag		növekedés, °C
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0
0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	1
1,0	0,020	0,010	0,015	0,125	9
1,5	0,070	0,025	0,048	0,396	23
2,0	0,110	0,065	0,088	0,729	42
2,5	0,155	0,103	0,129	1,075	58
3,0	0,190	0,130	0,160	1,333	73
3,5	0,215	0,160	0,188	1,563	84
4,0	0,245	0,190	0,218	1,813	97
4,5	0,275	0,215	0,245	2,042	108
5,0	0,295	0,235	0,265	2,208	117
5,5	0,310	0,250	0,280	2,333	124
6,0	0,320	0,260	0,290	2,417	131

Lineáris hőtágulás:

$$\Delta l = \alpha * L * \Delta T$$

$$\frac{\Delta l}{L} = \varepsilon = \frac{\varepsilon^{\text{‰}}}{1000} = \alpha * \Delta T$$

Lineáris hőtágulási együttható, 1/°C:

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{\Delta T} = \frac{\varepsilon^{\text{‰}}}{1000 * \Delta T}$$

$$\alpha = \frac{0{,}019}{1000} = 0{,}000019 = 19{,}0 * 10^{-6}$$

Idő	ε ‰
perc	
0,0	0,000
0,5	0,000
1,0	0,125
1,5	0,396
2,0	0,729
2,5	1,075
3,0	1,333
3,5	1,563
4,0	1,813
4,5	2,042
5,0	2,208
5,5	2,333
6,0	2,417

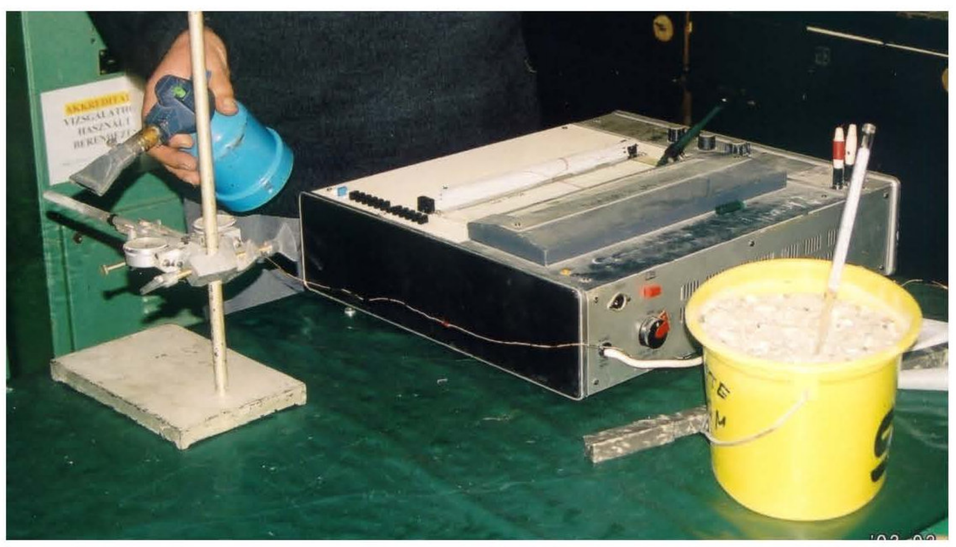
Idő	Hőmérséklet
perc	növekedés, °C
0,0	0
0,5	1
1,0	9
1,5	23
2,0	42
2,5	58
3,0	73
3,5	84
4,0	97
4,5	108
5,0	117
5,5	124
6,0	131

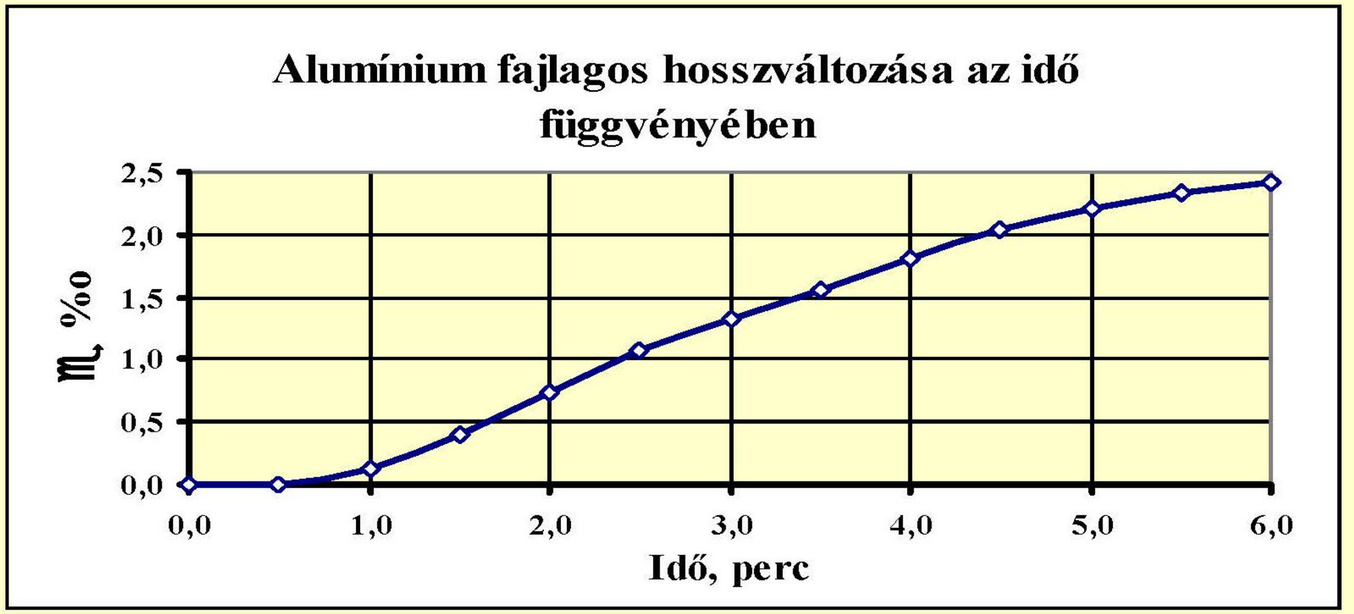
Hőmérséklet	ε ‰
növekedés, °C	
0	0,000
1	0,000
9	0,125
23	0,396
42	0,729
58	1,075
73	1,333
84	1,563
97	1,813
108	2,042
117	2,208
124	2,333
131	2,417

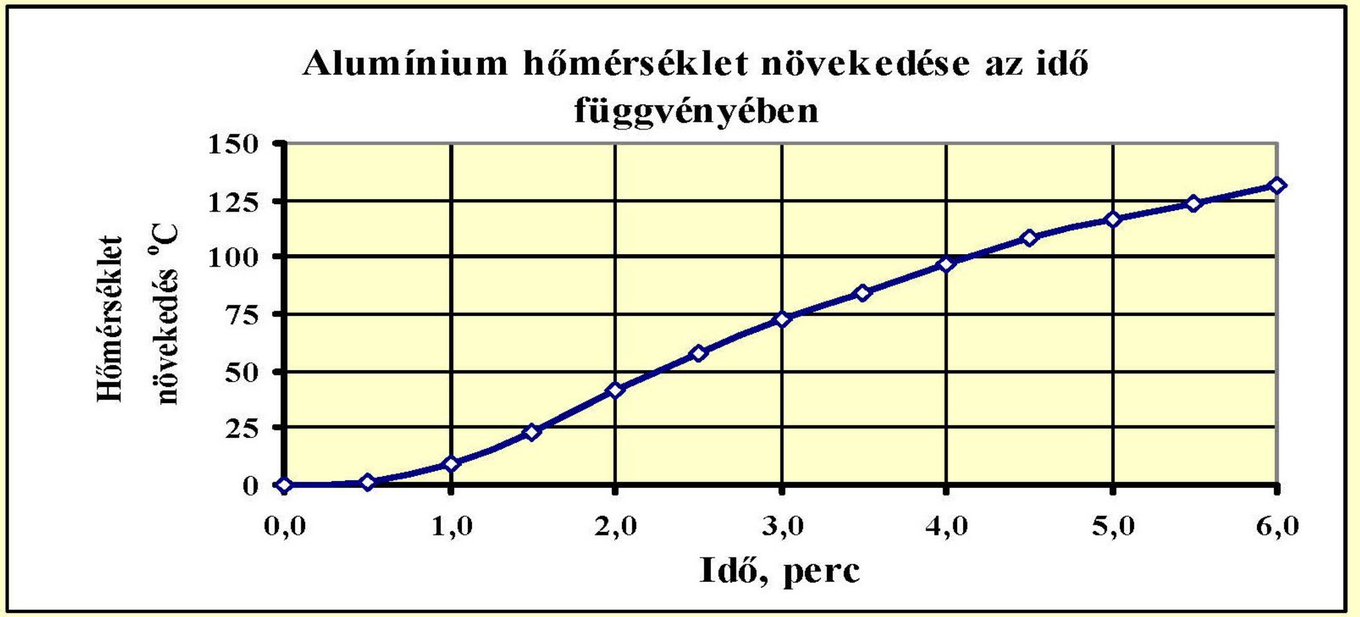
Néhány anyag lineáris hőtágulási együtthatója az irodalom [Palotás L.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 1.] szerint:

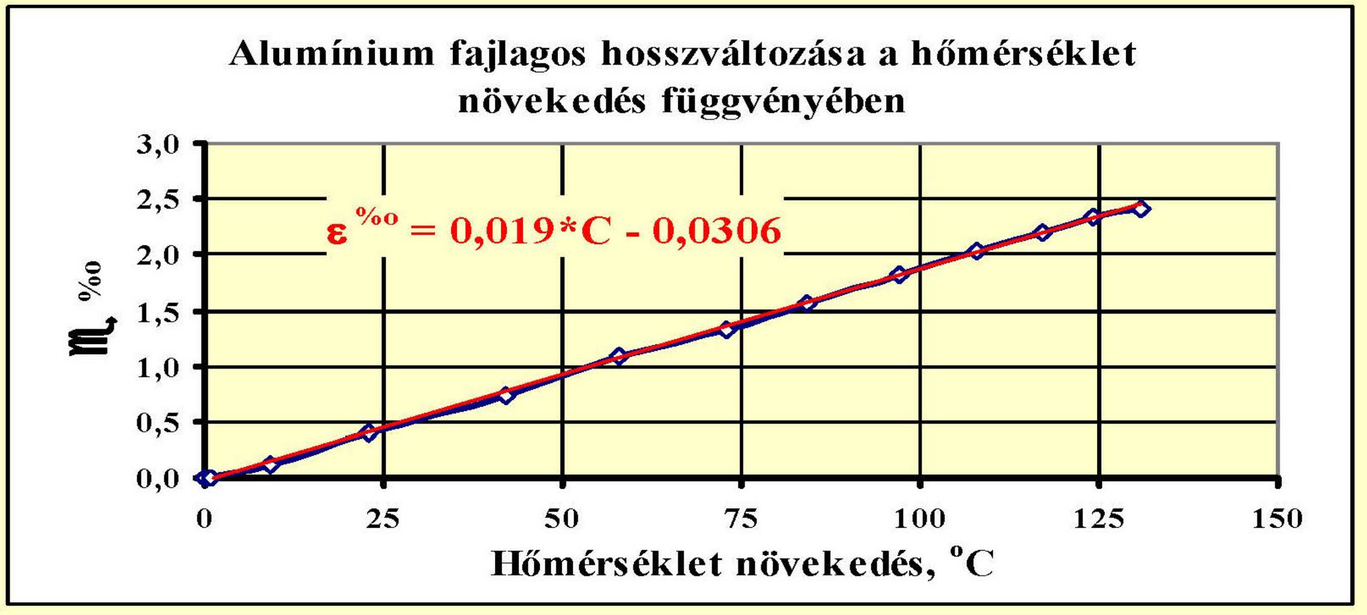
Anyag	α [1/°C]
Acél	$11{,}9 * 10^{-6}$
Alumínium	$\mathbf{23{,}9 * 10^{-6}}$
Bazalt	$8{,}0 * 10^{-6}$
Beton	$12{,}0 * 10^{-6}$
Cementkő	$18{,}5 * 10^{-6}$
Cink	$30{,}0 * 10^{-6}$
Gránit	$8{,}0 * 10^{-6}$
Gipsz	$25{,}0 * 10^{-6}$
Gipszhabarcs	$14{,}0 * 10^{-6}$
Gyémánt	$1{,}3 * 10^{-6}$
Jég	$52{,}5 * 10^{-6}$
Kvarc	$11{,}0 * 10^{-6}$
Márvány	$5{,}0 * 10^{-6}$
Mészkő	$6{,}9 * 10^{-6}$
Réz	$16{,}8 * 10^{-6}$
Szilícium	$7{,}0 * 10^{-6}$
Tégla	$9{,}0 * 10^{-6}$
Üveg	$5{,}0 * 10^{-6}$
Víz	$60{,}0 * 10^{-6}$

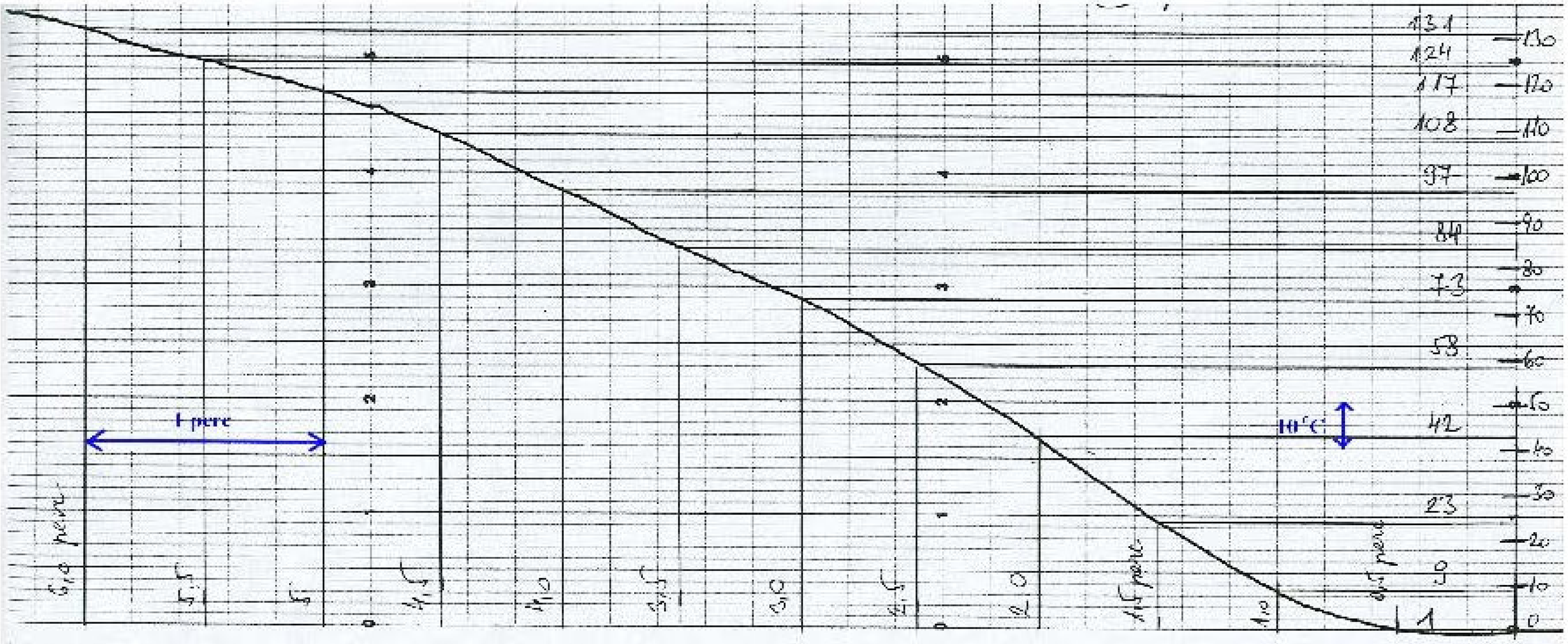
Többek között azért lehet vasbetont készíteni, mert az acél és a beton hőtágulási együtthatója közel egyforma érték.




Alumínium fajlagos hosszváltozása az idő függvényében
ℳ, ‰
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
Idő, perc


Alumínium hőmérséklet növekedése az idő függvényében
Hőmérséklet növekedés °C
150
125
100
75
50
25
0
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
Idő, perc


Alumínium fajlagos hosszváltozása a hőmérséklet növekedés függvényében
ε ‰ = 0,019*C - 0,0306
ℳ, ‰
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0
25
50
75
100
125
150
Hőmérséklet növekedés, °C



Ide kattintva a diagram kinagyítható

Hőmérsékletváltozás diagram

1997. október 7 i mérés

Kérem tekintse meg a

"Hossz- és hosszváltozásmérés"

és a "Hőtechnika"

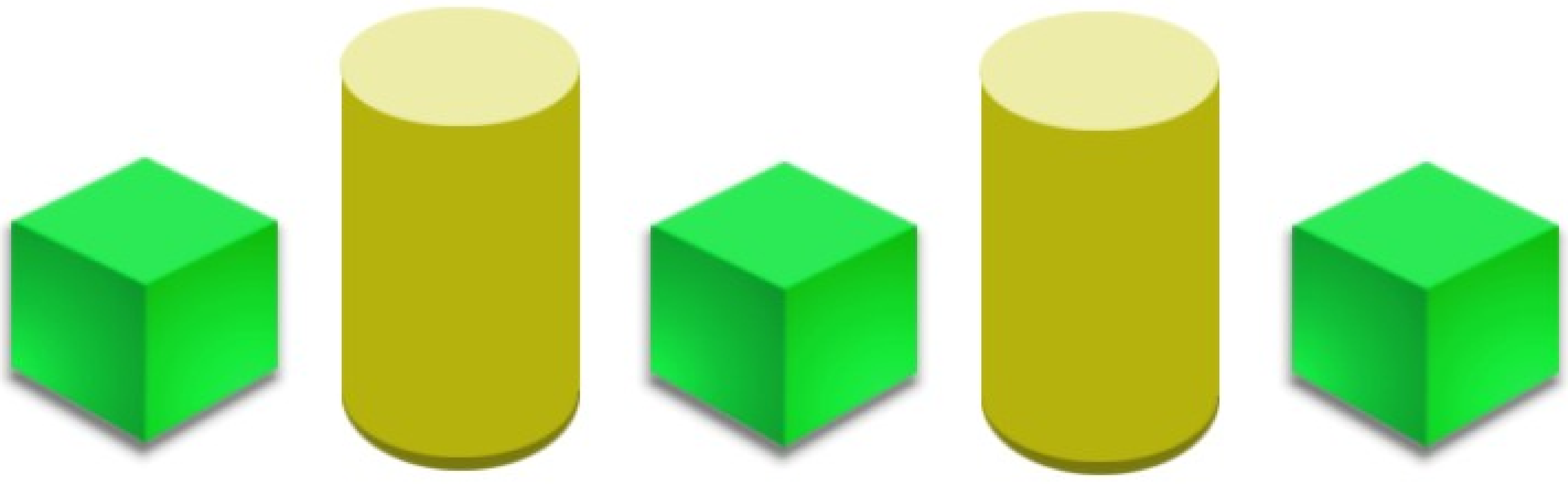
című oldalakat is.

RÖVID VIDEOFILMEK

Hőtágulásmérés 1. rész

Hőtágulásmérés 2. rész

Hőtágulásmérés 3. rész



Betonacélok, feszítőacélok, esetenként fémek alakváltozási és szilárdsági tulajdonságai jelölésének áttekintő táblázata

Megnevezés, tulajdonság	Jelölés	Szabvány, például
Jeltávolság		
eredeti ~	L_0	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
végső ~, szakadás utáni végső ~, szakadási maradó ~	L_u	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
vizsgálati hossz	L_c	MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
nyúlásmérővel mért hossz vagy a próbatest befogások közötti szabad hossza	L_e	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
próbatest teljes hossza	L_t	MSZ EN 10002-1:2001_*v*
Keresztmetszeti terület		
feszítőacél ~e	A_p	MSZ EN 1992-1-1:2010
betonacél, acélbetét ~e	A_s	MSZ EN 1992-1-1:2010 DIN 1045-1:2008_*v*
betonacél, acélbetét ~e, legalább	$A_{s,min}$	MSZ EN 1992-1-1:2010
betonacél, acélbetét ~e, névleges	A_n	MSZ EN 10080:2005 DIN 488-1:2009
nyírási vasalás ~e	A_{sw}	MSZ EN 1992-1-1:2010
betonacél, próbatest eredeti ~e; pászma ~e, névleges = tömeg/sűrűség	F_0	MOSz 102:1933_*v*
	S_0	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10025-2:2020 prEN 10138-3:2000 E DIN EN 10138-3:2000 (Entwurf)
Megjegyzés: A betonacél névleges átmérőjétől (d_s) függő névleges keresztmetszeti területéről ($A_n = d_s^2 \times \pi/4$) és névleges tömegéről, azaz „folyómétersúlyáról” ($M_{Nennmasse} = 10^{-3} \times A_n \times \rho_{acél}$, például d = 8 mm esetén $M_{Nennmasse}$ = 0,395 kg/m = $= 10^{-3} \times (50{,}3\ mm^2) \times (7{,}85\ g/cm^3)$) például a DIN 488-1:2009 szabvány 3. táblázatában található tájékoztatás.		

A táblázat folytatódik

A táblázat folytatása

Megnevezés, tulajdonság		Jelölés	Szabvány, például
Nyúlás, azaz fajlagos megnyúlás			
egyezményes folyáshatárhoz tartozó maradó ~ terhelt állapotban		e_p, ε_p	MSZ EN ISO 6892-1:2020
		A_p	MSZ EN 10080:2005 MSZ EN 1992-1-1:2010
egyezményes folyáshatárhoz tartozó maradó ~ terheletlen állapotban		e_r, ε_r	MSZ EN ISO 6892-1:2020 (A szabványban teljes nyúlásnak nevezik)
		A_r	MSZ EN 10080:2005 MSZ EN 1992-1-1:2010
névleges folyáshatárhoz tartozó teljes ~ terhelt állapotban		e_t, ε_t	MSZ EN ISO 6892-1:2020
folyási ~, maradó folyási ~, (a folyás alatti nyúlás hossza)		Jel nélkül	MSZ 105-1:1987_*v*
		A_e	MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
szakadás utáni maradó ~, szakadási maradó ~ (például $5\times d_0$ hosszon: A, $10\times d_0$ hosszon: $A_{10\cdot d}$, nem arányos próbatest vagy feszítőhuzal L mm hosszán: A_L)		A, $A_{10\cdot d}$, $A_{5{,}65\cdot\sqrt{S_0}}$, A_L	MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020 MSZ 339:1987 MSZ 982:1987 MSZ 5720:1993 MSZ EN 10025-2:2020
szakadás utáni (szakadási) egyenletes (kontrakció nélküli) maradó ~, az elszakadt próbatest hosszabb darabján mérve		δ_e	MOSz 102:1933_*v*
		A_r	MSZ EN ISO 15630-1:2020
		A_{wn}	MSZ EN ISO 6892-1:2020
szakadás utáni (szakadási) teljes ~		δ_B	MOSz 102:1933_*v*
		δ_5, δ_{10}	MOSz 112:1933_*v* DIN 488-1:1972_*v*
		A_t	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
legnagyobb terheléskor mért ~	nem arányos, képlékeny, maradó ~	A_g	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020
	teljes ~	A_{gt}	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020 MSZ EN 10080:2005 prEN 10138-1:2000 E DIN EN 10138-1:2000 (Entwurf)

A táblázat folytatódik

Megnevezés, tulajdonság		Jelölés	Szabvány, például
Nyúlás, azaz fajlagos megnyúlás			
legnagyobb terheléskor mért teljes ~	érték	ε_u	MSZ EN 1992-1-1:2010
	jellemző érték (előírt)	ε_{uk}	MSZ/T 339:2012* MSZ EN 1992-1-1:2010 DIN 1045-1:2008_*v*
		A_{gt}	DIN 488-1:2009
		$C_v \leq A_{gt} - k \times s$	MSZ EN 10080:2005
Megjegyzés: Az MSZ EN 10080:2005 szabvány 7.2.3.1. és 8.5.2. szakasza szerint az A_{gt} előírt jellemző értékének $C_v \leq A_{gt} - k \times s$ összefüggésében k a szabvány 17. táblázata szerinti alulmaradási tényező, s pedig a legnagyobb terheléshez tartozó százalékos teljes nyúlás (A_{gt}) tapasztalati szórása.			
Keresztmetszet-csökkenés, kontrakció			
kontrakció, befűződés		ψ	MOSz 102:1933_*v*
		Z	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
Legnagyobb terhelőerő, legnagyobb húzóerő, szakítóerő			
jellemző érték (előírt)		F_m	MSZ 105-1:1987 *v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020 MSZ 5720:1993 prEN 10138-1:2000 E DIN EN 10138-1:2000 (Entwurf)
átlagérték		P	MOSz 102:1933_*v*
		F_{mm}	MSZ 5720:1993
legnagyobb érték		P_B	MOSz 102:1933_*v*
		$F_{m,max}$	prEN 10138-1:2000 E DIN EN 10138-1:2000 (Entwurf)
Névleges folyáshatárhoz tartozó erő			
érték		$F_{t1,0}$	MSZ 5720:1993
Terhelőerő fárasztó vizsgálat esetén			
felső erő		F_{up}	MSZ EN ISO 15630-1:2020 prEN 10138-1:2000 E DIN EN 10138-1:2000 (Entwurf)
erőtartomány		F_r	MSZ EN ISO 15630-1:2020 prEN 10138-2:2000 E DIN EN 10138-1:2000 (Entwurf)

A táblázat folytatódik

A táblázat folytatása

Megnevezés, tulajdonság	Jelölés	Szabvány, például
Feszítőerő		
érték	P	MSZ EN 1992-1-1:2010
a feszítőacél aktív végén, kezdeti erő, feszítés után	P_0	MSZ EN 1992-1-1:2010
Feszültség		
~ az arányosság határán	σ_p	MOSz 102:1933_*v*
~ a rugalmasság határán	σ_E	MOSz 102:1933_*v*
~ az egyenletes nyúlás határán	σ_e	MOSz 102:1933_*v*
~ a szakadási keresztmetszetben	σ_c	MOSz 102:1933_*v*
teljes fajlagos megnyúláshoz tartozó ~	R_t	MSZ EN ISO 6892-1:2020
Szakítószilárdság; Húzószilárdság		
betonacél ~a (A MOSz szabványok szerint a szerkezeti és hídépítési folytacélok esetén is.)	σ_B	MOSz 102:1933_*v* MOSz 112:1933_v
	β_Z	DIN 488-1:1972_*v*
	f_t	MSZ EN 1992-1-1:2010
betonacél ~, jellemző érték (előírt)	f_{tk}	MSZ EN 1992-1-1:2010 DIN 1045-1:2008_*v*
feszítőacél ~a	f_p	MSZ EN 1992-1-1:2010
feszítőacél ~, jellemző érték (előírt), ha $R_m = F_m/S_0$	f_{pk}	MSZ EN 1992-1-1:2010
	R_m	prEN 10138-2:2000 E DIN EN 10138-2:2000 (Entwurf) DIN 488-1:2009
feszítőpászma névleges ~a	R_m	MSZ 465:1987
átlagérték	R_m	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020 MSZ 339:1987 MSZ 982:1987 MSZ 5720:1993 MSZ EN 10080:2005
Megjegyzés: A szakítószilárdság a névleges keresztmetszettel számítandó ki (MSZ 465:1987, MSZ EN 10080:2005 szabvány 7.2.3.2. szakasz, DIN 488-1:2009 szabvány 2. táblázata stb.).		

A táblázat folytatódik

A táblázat folytatása

Megnevezés, tulajdonság	Jelölés	Szabvány, például
Tetmajer-féle minőségi szám és hajlítási mérték		
Minőségi szám, munkamérőszám	$A = \sigma_B \times \delta_B$	MOSz 102:1933_*v*
Hajlítási mérték (alakíthatósági vizsgálat), %	$B_g = 50 \times (a/r)$	MOSz 102:1933_*v* MOSz 105:1933_*v*
	ahol: a = a próbatest vastagsága; r = a semleges szál görbületi sugara	
Folyáshatár		
betonacél ~, átlagérték (A MOSz szabványok szerint a szerkezeti és hídépítési folytacélok esetén is.)	σ_S	MOSz 102:1933_*v* MOSz 112:1933_*v*
	β_S, $\beta_{0,2}$	DIN 488-1:1972_*v*
	R_e	MSZ EN 10080:2005 DIN 488-1:2009
	f_y	MSZ EN 1992-1-1:2010
betonacél ~, tervezési érték	f_{yd}	MSZ EN 1992-1-1:2010
betonacél, jellemző érték (előírt)	f_{yk}	MSZ EN 1992-1-1:2010 DIN 1045-1:2008_*v*
	$C_v \leq R_e - k \times s$	MSZ EN 10080:2005
nyírási vasalás ~, tervezési érték	f_{ywd}	MSZ EN 1992-1-1:2010
felső jellemző érték (előírt)	R_{eH}	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020 MSZ 339:1987 MSZ EN 10080:2005 DIN 488-1:2009
alsó jellemző érték (előírt)	R_{eL}	MSZ 105-1:1987_*v* MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
mért érték	$R_{e,act}$	MSZ EN 10080:2005
	$R_{e,ist}$	DIN 488-1:2009
	$f_{yk,ist}$	DIN 1045-1:2008_*v*
jellemző érték (előírt) $R_{e,nenn} = 500$ N/mm^2	$R_{e,nom}$	MSZ EN 10080:2005
	$R_{e,nenn}$	DIN 488-1:2009
	$f_{yk,nenn}$	DIN 1045-1:2008_*v*
~ mért (meghatározott) és előírt értékének, illetve jellemző értékének aránya (viszonyszáma)	$R_{e,act}/R_{e,nom}$	MSZ EN 10080:2005
	$R_{e,ist}/R_{e,nenn}$	DIN 488-1:2009
	$f_{yk,ist}/f_{yk,nenn}$	DIN 1045-1:2008_*v*

A táblázat folytatódik

Megjegyzés:

- A folyáshatár a névleges keresztmetszettel számítandó ki (például: MSZ EN 10080:2005 szabvány 7.2.3.2. szakasz, DIN 488-1:2009 szabvány 2. táblázata).
- Az MSZ EN 10080:2005 szabvány 7.2.3.1. és 8.5.2. szakasza szerint az R_e előírt jellemző értékének $C_v \leq R_e - k \times s$ összefüggésében k a szabvány 16. táblázata szerinti alulmaradási tényező, s pedig az R_e folyáshatár tapasztalati szórása.

Megnevezés, tulajdonság		Jelölés	Szabvány, például
Egyezményes folyáshatár			
betonacél ~ának, 0,2% maradó nyúláshoz tartozó ~ának jellemző értéke		$f_{0,2k}$	MSZ EN 1992-1-1:2010_! MSZ EN 1992-2:2009_! DIN 1045-1:2008_v
feszítőacél ~ának, 0,1% maradó nyúláshoz tartozó ~ának	értéke	$f_{p0,1}$	MSZ EN 1992-1-1:2010_! MSZ EN 1992-2:2009_!
	jellemző értéke, $F_{p0,1}$ ~ ~ (83-86)%×F_m	$f_{p0,1k}$	MSZ EN 1992-1-1:2010_! MSZ EN 1992-2:2009_! DIN 1045-1:2008_v
		$F_{p0,1}$	prEN 10138-1:2000 E DIN EN 10138-1:2000 (Entwurf)
terhelt állapotban mért ~ (Például 0,2% maradó nyúláshoz tartozó ~, a próbatest terhelt állapotában)		R_p ($R_{p0,2}$)	MSZ 105-1:1987_v MSZ EN 10002-1:2001_v MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ EN ISO 15630-1:2020 MSZ 982:1987 MSZ EN 10080:2005 DIN 488-1:2009
terheletlen állapotban mért ~ (Például 0,2% maradó nyúláshoz tartozó ~, a próbatest terheletlen állapotában)		R_r ($R_{r0,2}$)	MSZ 105-1:1987_v MSZ EN 10002-1:2001_v MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ 982:1987

Megjegyzés: _!

A magyar nyelvű MSZ EN 1992-1-1:2010 és MSZ EN 1992-2:2009 Eurocode 2 tervezési szabványban az $f_{0,2k}$, $f_{p0,1}$, és $f_{p0,1k}$ „egyezményes folyáshatár” megnevezését „névleges folyáshatár”-nak fordították.

Névleges folyáshatár		
egyes értékek	R_{ti}	MSZ 982:1987
átlagérték	R_{tm}	MSZ 982:1987
előírt, azaz jellemző érték	R_t	MSZ 105-1:1987_v MSZ EN 10002-1:2001_v MSZ EN ISO 6892-1:2020 MSZ 982:1987
1,0% teljes nyúláshoz tartozó ~	$R_{t1,0}$	MSZ 5720:1993

A táblázat folytatódik

A táblázat folytatása

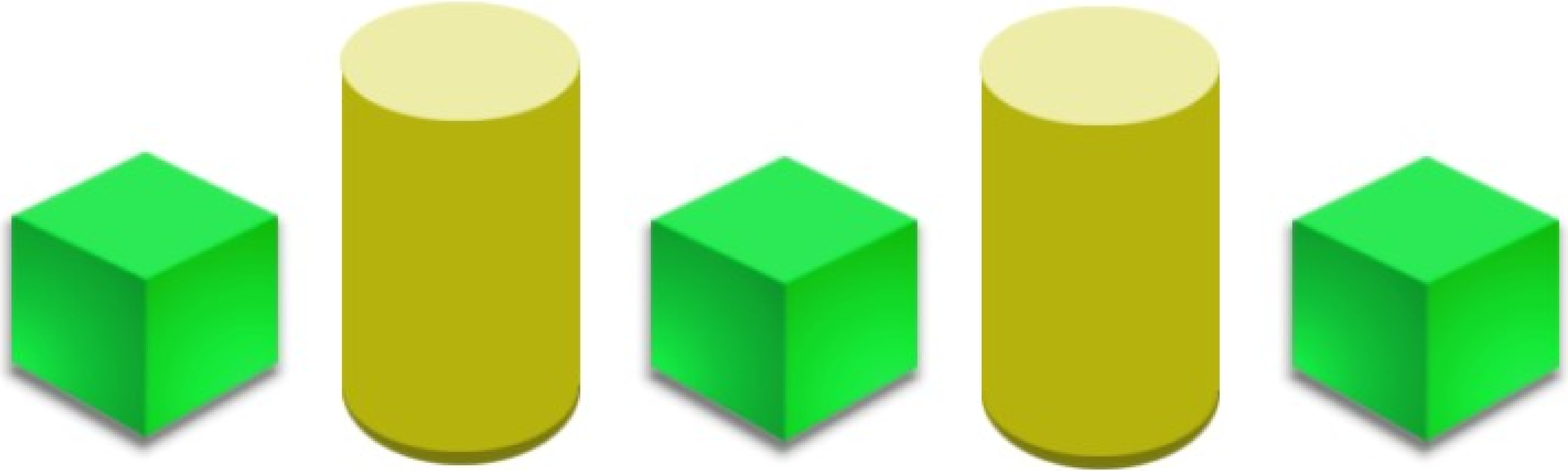
Megnevezés, tulajdonság	Jelölés	Szabvány, például
Betonacél duktilitásának (alakíthatóságának) szilárdsági feltételét kifejező szakítószilárdság/folyáshatár hányados (viszonyszám) jele		
szakítószilárdság és folyáshatár hányadosa „folyási határ viszonyszáma”	σ_B/σ_S	MOSz 102:1933_*v*
szakítószilárdság és folyáshatár hányadosának jellemző értéke	R_m/R_e	MSZ EN 10080:2005 DIN 488-1:2009
szakítószilárdság és folyáshatár hányadosának jellemző értéke	$(f_t/f_y)_k$	MSZ EN 1992-1-1:2010 DIN 1045-1:2008_*v* MSZ/T 339:2012 *
Rugalmassági modulus		
érték	E	MSZ EN 10002-1:2001_*v* MSZ EN ISO 6892-1:2020
tervezési érték, betonacél	E_s	MSZ EN 1992-1-1:2010
tervezési érték, feszítőacél	E_p	MSZ EN 1992-1-1:2010

Megjegyzés:

- A táblázat jobb oszlopában a *vizsgálati szabványok* jelzetének háttere sárga, a *termékszabványok* jelzetének háttere zöld, a *méretezési szabványok* jelzetének háttere barna;
- ~ a vonatkozó címszó helye, például: betonacél ~a → betonacél folyáshatára;
- „*v*” betű a szabvány évszáma után alsó kötőjellel (_*v*) a visszavont szabványokat jelöli;
- A folyáshatár – hasonlóan a szakítószilárdsághoz – a névleges keresztmetszettel számítandó ki (például: MSZ EN 10080:2005 szabvány 7.2.3.2. szakasz, DIN 488-1:2009 szabvány 2. táblázata);
- A „jellemző érték” azonos a „karakterisztikus érték” kifejezéssel (egymás szinonimái), amelyet a szabványok gyakran „előírt értéknek” neveznek;
- * Az MSZ/T 339:2012 szabványtervezetre hivatkozással az ÉMI 2019. május 10-én A-181/2014 számú NMÉ Nemzeti Műszaki Értékelést adott ki B500B és B500C jelű melegen hengerelt betonacélokra az ÓAM Ózdi Acélművek Kft. részére (az MSZ/T 339:2012 szerinti jelölések a fentiektől eltérhetnek).
- Lásd még:
  http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/acel-szilardsag.pdf
  http://www.betonopus.hu/szakmernoki/147-acel.pdf

MEGJEGYZÉS: Az betonacélok, feszítőacélok, esetenként fémek fogalom-meghatározásai az elektronikus Betonos[e]könyv lapjain olvashatók:

http://www.betonos-e-konyv.hu/book.php?pdf=betekon-101-5.pdf&fb3d-page=1



Keménység, keménységmérés

Gyémánt

A keménységnek kétféle meghatározása ismeretes, és mind a kettőt a vizsgálati módszer jellegéből származtatják.

A *keménységet* általában benyomóvizsgálatokkal határozzák meg, amelynek során annak a lenyomatnak a nagyságát mérik, amelyet a szilárd anyagba nyomott kemény benyomófej okozott (statikus módszer). Ez a *meghatározás abban az értelemben nem teljes*, hogy a keménységet az azzal arányos visszapattanási értékkel is meg lehet határozni, például a Shore keménységet Sklerographal is mérik (dinamikus módszer).

Keménységgel az acélokat, öntöttvasat, faanyagokat, kőanyagokat, a természetes kaucsukot, a gumikat, műanyagokat, bőröket szokás jellemezni.

A keménységmérésnek **statikus** és **dinamikus** módjai vannak. Alapelvük – a fentieknek megfelelően – megegyezik, a benyomófejet meghatározott erővel benyomják a vizsgálandó anyagba, és megmérik a képlékeny és rugalmas részből összetevődő helyi alakváltozás nyomát.

Statikus méréssel csak a képlékeny alakváltozással arányos nyom határozható meg. A benyomóerő nagyságától függően megkülönböztetik a **makrokeménységet** (ha a benyomóerő $F > 30$ N), a **közepes keménységet** (ha a benyomóerő 2 – 30 N közé esik) és a **mikrokeménységet** (ha a benyomóerő $F < 2$ N). *Statikus* keménységmérési eljárások közé tartozik a *Brinell*, a *Vickers* és a *Rockwell* módszer, valamint a statikus vizsgálatra alkalmas *Shore* módszer.

Dinamikus mérés során a benyomófejet meghatározott távolságból, mozgási energiával a vizsgálandó anyaghoz ütik, ill. az anyagra ejtik, és mérik a visszapattanást vagy az ütőgolyó nyomának átmérőjét. Dinamikus méréssel elsősorban csövek, turbinatengelyek, kovácsolt acél keménységét határozzák meg. *Dinamikus* keménységmérési eljárások közé tartozik a *Shore* keménység (dinamikus vizsgálatra alkalmas, például Sklerograf nevű készülék), az *ingás* keménység, az *ütőkeménység* (*Poldi kalapács*) mérési módszere, a *Cristofoli-féle ejtőorsó*. (Elvileg ide lehetne sorolni a betonok roncsolásmentes szilárdság vizsgálatára használt *Schmidt* kalapácsot is.)

A keménység összefüggésben áll a szilárdsággal, ezért vizsgálatát pl. a **szerkezeti acélok** és a **betonacélok** esetén a **húzószilárdság** (szakítószilárdság) meghatározására, ill. becslésére végzik főképp akkor, ha

- a húzószilárdság közvetlen vizsgálatára nincs lehetőség;
- helyszíni vizsgálatot kell végezni;
- az anyag helyi húzószilárdságát kívánjuk meghatározni, pl. hegesztési varrat környezetében.

A **keménység jele** betűjelből és számjelekből áll. A betűjel első betűje: ***H*** – amely a német *Härte,* ill. az angol *hardness* (keménység) szó kezdőbetűje, – második betűje a keménység vizsgálati módszerérének kezdőbetűje, esetleg szereplő harmadik betűjele a keménység vizsgálati módszer alfajára utal.

Az **acél húzószilárdságának** jele az idők folyamán változott, de acélfajtánként és előírásonként is különböző lehet:

- σ_B (betonacél: MSZ 339:1962)
- R_m (szerkezeti acél: MSZ 500:1974; MSZ 6259:1974 betonacél: MSZ 339:1980 és MSZ 339:2008; MSZ EN 10080:2005)
- f_t (betonacél: MSZ EN 1992-1-1:2005; MSZ EN 1992-1-2:2005; MSZ EN 1992-2)

A keménységmérésre számos módszer és eszköz áll rendelkezésre, amelyek közül a legmegfelelőbbet a vizsgálandó anyagtól és a vizsgálat céljától, körülményeitől függően kell kiválasztani.

Az acélok különböző módszerek szerinti keménység vizsgálati eredményei egymás között, ill. az alapvetőnek tekintett **Brinell keménységre** átszámíthatók. Az ötvözetlen és ötvözött acélok és acélöntvények keménységének, valamint az acél szakítószilárdságának összehasonlító (átszámítási) táblázata (*1. táblázat*) erre a mondatra kattintva nyitható meg. A Brinell keménység és az acél húzószilárdság – az *1. táblázat* értékeiből meghatározott – összefüggését grafikusan az *1. ábrán* tüntettük fel, amely erre a mondatra kattintva tekinthető meg.

Az *1. ábrabeli* összefüggést egyenessel közelítve a következő átszámítási egyenletet kapjuk:

$$f_t = 3{,}51 \cdot HB - 26{,}7 \ [N/mm^2]$$

A másodfokú parabolával leírt átszámítási egyenlet ennél bonyolultabb, de nem sokkal pontosabb:

$$f_t = 0{,}0006 \cdot HB^2 + 3{,}12 \cdot HB + 23{,}9 \ [N/mm^2]$$

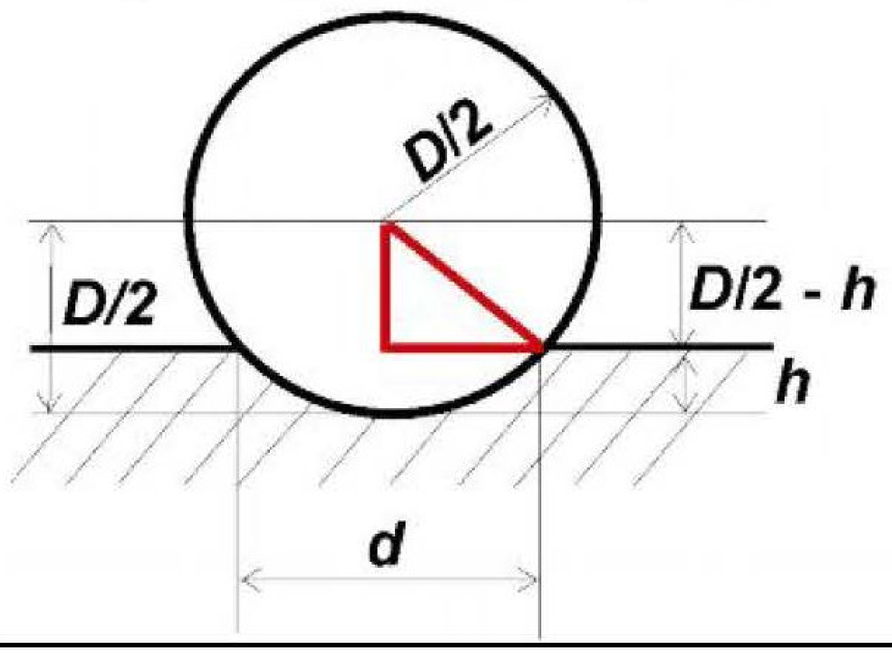
Ezekbe az egyenletekbe a *HB Brinell* keménység kp/mm^2 mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni.

BRINELL KEMÉNYSÉG

Egy D átmérőjű golyót F terhelőerővel kell a megvizsgálandó anyagba nyomni, meghatározott idő után tehermentesíteni kell, majd meg kell mérni a benyomódás d átmérőjét. A Brinell keménység (HB) értéke az F terhelőerő [kp] és a benyomódás gömbsüvege A_s felszínének [mm^2] hányadosa.

A Brinell keménység mérés elve

$$(D/2-h)^2 + (d/2)^2 = (D/2)^2$$



$$HB = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{2 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

mert a Pitagorasz-tétel alkalmazásával felírhatjuk, hogy:

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

A Brinell keménység jele:

Brinell keménység értéke, HB betűjel, golyó átmérő / terhelőerő / terhelési idő

Például, ha a Brinell keménységmérő készülék 10 mm átmérőjű golyójára ható 750 kp (7355 N) terhelőerő 15 másodpercig történt működtetésével kapott Brinell keménység értéke HB = 100 kp/mm^2, akkor a Brinell keménység jele:

100 HB 10/750/15

Brinell keménység mérő készülék

Brinell keménység mérő készülék

Brinell keménységgel a lágy, vagy közepes keménységű acélok jellemezhetők. A 450 kp/mm^2-nél nagyobb keménység mérésére a *Brinell* módszer nem alkalmas, helyette a *Rockwell* vagy a *Vickers* eljárás alkalmazandó.

Az acélok keménységét bármely módszerrel vizsgálják is, a *Brinell* keménységre kell (szokás) visszavezetni. Az acél közelítő húzószilárdságát (szakítószilárdságát) a Brinell keménységből a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

$$\text{általában: } f_t = 3{,}5 \cdot \text{HB}, \quad \text{pontosabban: } f_t = 3{,}51 \cdot \text{HB} - 26{,}7 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Ezekbe az egyenletekbe a *HB Brinell* keménység kp/mm^2 mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni.

Példák a *Brinell* keménység alkalmazására

- A *Böhme*-féle koptatógép koptatópályájának keménységét az MSZ 18290-1:1981 szabvány a *Shore* 32 – 36 keménységnek megfelelő 186 HB 10/3000/15 – 216 HB 10/3000/15, a német DIN 52108:1968 szabvány 190 HB 10/3000/15 – 220 HB 10/3000/15 *Brinell* keménységben adja meg.

- Az egykori MNOSZ 1991:1951, MSZ 1991:1960 és MSZ 1991:1967 szabvány azt írta elő, hogy a *Föppl*-féle ejtőgép ütőfejét edzett, 200 HB *Brinell* keménységű acélból kell elkészíteni. A kos ütéseit átadó acélfeltét keménysége 500 HB volt. A *Föppl*-féle ejtőgéppel 40 mm élhosszúságú kő próbakockák ütőszilárdságát határozták meg. Az acél ejtőkos tömege 50 kg, az öntöttvas üllő tömege 500 kg volt. Az ejtési magasságot az első ütés előtt úgy állították be, hogy a próbakocka 1 cm^3 térfogatára 2 kg·cm ütőmunka jusson, majd a további ütések ütőmunkáját ütésenként mindig az első ütéshez tartozó ütőmunkával növelték.
  Az ütőszilárdságot a próbatest teljes tönkremeneteléhez tartozó azon ütések számából határozták meg, amelyek után a visszaugró kos magasabban állt meg, mint az előző ütésnél.

  Megemlítjük, hogy 1967 előtt hazánkban az útépítési zúzottkövek és a vasúti ágyazati zúzottkövek szilárdságát nem a Los Angeles aprózódási, hanem a *Stübel*-féle ütő vizsgálattal (MSZ 1991:1960, MSZ 11300:1959) határozták meg. A vasúti ágyazati zúzottkövek nyersanyagának szilárdságát még 1967 után is sokáig a *Föppl*-féle ejtőgéppel vizsgálták. *Föppl*-féle vizsgálatot a Műegyetemen már az 1930-as években is végeztek, de *Föppl*-féle és *Stübel*-féle berendezésekkel legutóbb már csak a hazai vasúttársaság központi laboratóriuma (MÁV Anyagvizsgáló Főnökség) rendelkezett. A *Stübel*- és a *Föppl*-féle ütőszilárdság vizsgálati módszerek leírása együtt az MSZ 1991:1960 szabványban volt olvasható. A *Stübel*-féle ejtőgépre vonatkozó keménység követelményeket nem találtunk. (*Láczay-Fritz*, 1930 és *Reznák*, 1965)

- Az MSZ EN 10027-1:2006 szabvány szerint az acél sínek jele például: R320Cr, ahol az R betű a sínacélok jele, a 320-as szám az előírt *Brinell* keménység, a Cr jel a króm ötvözetre utal.

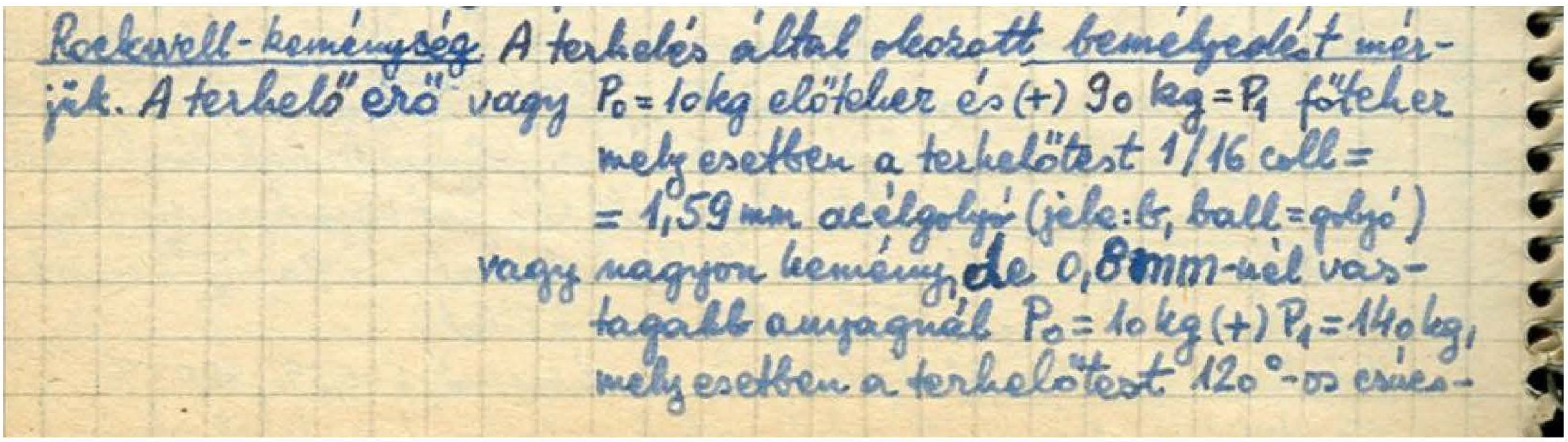
ROCKWELL KEMÉNYSÉG

Rockwell keménységgel az edzett, illetve nagy szilárdságúra nemesített acélok keménységét lehet kifejezni.

A *Rockwell* keménység jele az MSZ EN ISO 6508-1:2006 szabvány szerint:

- Rockwell keménység számértéke
- Rockwell keménység betűjele (HR)
- Skála jele (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T; tapad a keménység betűjeléhez)
- Terhelőtest anyagjele (acél esetén: S, kemény fém esetén: W)

Például: 70 HRF S


Rockwell-keménység A terhelés által okozott bemélyedését mérjük. A terhelő "erő" vagy P_0 = 10 kg előteher és (+) 90 kg = P_1 főteher
mely esetben a terhelőtest 1/16 coll =
= 1,59 mm acélgolyó (jele: b, ball = golyó)
vagy nagyon kemény de 0,8 mm-nél vastagabb anyagnál P_0 = 10 kg (+) P_1 = 140 kg,
mely esetben a terhelőtest 120°-os csúcs-

P_0 = 10 kg **CGS** mértékegység rendszerbeli előtehernek az **SI** mértékegység rendszerben megfelelő erő: 98,07 N

P_1 = 90 kg **CGS** mértékegység rendszerbeli főtehernek az **SI** mértékegység rendszerben megfelelő erő: 882,6 N

Teljes vizsgáló erő a $P_0 + P_1$ = 100 kg **CGS** mértékegység rendszerbeli teljes teherből az **SI** mértékegység rendszerben megfelel: = 980,7 N

Az 1,5875 mm átmérőjű acélgolyóval és 980,7 N teljes vizsgáló erővel végzett vizsgálat az MSZ EN ISO 6508-1:2006 szabvány szerint nem szabványos, a vizsgálati eredmények feltehetőleg valahol a szabványos F és G skála (keménység jel: HRF és HRG) között helyezkednek el.

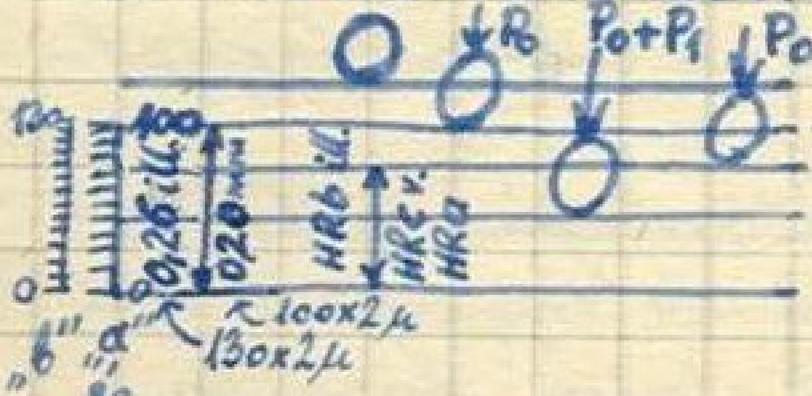
szögű, csúcsán 0,2 mm-es sugárral lekerekített gyémántkúp (jele: c; cone = kúp)
vagy nagyon kemény, de 0,8-0,4 mm vastag anyagnál P_0 = 10 kg (+) P_1 = 52,5 ill. 50 kg, melyesetben a terhelőtest a fenti „c" változát gyémántkúpjával azonos (jele: a)

A mérés menete:

1., P_0 = 10 kp előterhelést adunk, majd kezdőállásba korrukk a mélységmérő" órát
2., Ráadjuk a megfelelő" P_1 főterhet. Tehát P_0+P_1 hat.
3., Miután a mélységmérőóra mutatója megállott a P_1 főterhelést megszüntetjük. Tehát újból P_0 hat. Terh. idő": 30 sec
4., A mélységmérőóráról leolvassuk a főterhelés okozta maradó alakváltozás mélységét. A számlapot rendszerint úgy szerkesztik meg, hogy arról azonnal a keménység olvasható le.
5., Kiszámítjuk a Rockwell keménységet, ha az óráról az közvetlenül nem olvasható le, a következők szerint:
„a" és „c" jelű (gyémántkúp) eset: $HRC(=)HRa = 100 - e = 100 - \frac{h^{(\mu)}}{2^{(\mu)}}$
„b" jelű (acélgolyó) eset: $HRb = 130 - e = 130 - \frac{h^{(\mu)}}{2^{(\mu)}}$

A „h" benyomódást 2 μ-ra (2 μ = 0,002 mm), mint egységre vonatkoztatjuk.

A mérést szemléltető ábra:



$e = \frac{h^{[\mu]}}{2^{[\mu]}}$ = dimenzió nélküli szám

A keménység jelölése pl.: 80 HRb

A jó mérés feltételei: fémtiszta-, sima-, (acélhasáb metszet síklapja →) síkfelület. A vizsgált anyag vastagsága „e"-nek legalább 8-szorosa legyen. A próba hátlapján a vizsgálat után alakváltozásnak látszani nem szabad. A benyomódás közepe a próbalap széletől, vagy két szomszédos benyomódás közepe egymástól legalább 3 mm távolságban legyen. Minimum két mérést kell végezni.

A Rockwell-keménység mérés gyakorlati végrehajtása: (HRb mérést végzünk.)

1., A műszerasztalra helyezzük az acél mintákat.
2., A vízszintes síkú kerékkel a műszerasztalt a Rockwell-golyóig elmeljük és ugyanezzel a kerékkel az asztal további emelésével adjuk a P_0 = 10 kg előterhet. Az előterhelő működésekor a kismutató az alul lévő piros jelre, a nagy mutató HRb mérés esetén a „b" skála 30-as osztására mutat. (mert 100+30=130 és 100 egy körülfordulás.)
3., A jobboldali felső kar lassú elfordításával a P = 90 kg főterhet ráengedjük a próbadarabra. (hidraulika.)
4., Miután a mutató megállt a kar visszafordításával a főterhet megszüntetjük.
5., A „b" skálán HRb értéket leolvassuk.

Rockwell keménység mérő készülék

Példák a *Rockwell* keménység alkalmazására

- Az MSZ EN 12504-2:2001 szabvány előírja, hogy a beton roncsolásmentes vizsgálatához használt *Schmidt*-kalapács hitelesítő üllőjének magja legalább 52 HRC *Rockwell* keménységű acélból készüljön.

- Az MSZ EN 1097-2:2000 szabvány a durva kőanyaghalmazok aprózódási ellenállásának meghatározására (a hazánkban elterjedt Los Angeles vizsgálat mellett) alternatív vizsgálati módszerként tartalmazza az ütőkosos ütővizsgálatot. A módszerrel a 8 – 12,5 mm közötti szemhalmaz (frakció) aprózódása vizsgálható meg 10-szeri, 370 mm magasságból történő ütés hatására. A szabvány előírja, hogy az ütőkos mangán-króm ötvözésű acél szárának a betétedzési mélysége legalább 1 mm, a felületi keménysége EN 10109-1:1994 szerinti 54 HRC – 56 HRC *Rockwell* keménységű kell legyen. Ugyanilyen keménységű kell legyen a vizsgálati mintát befogadó acél mozsár és az ütést a kőanyag mintára átadó acél dugattyú.

  Az ütőkosos berendezés rezgéscsillapító lábakon áll. Ezeknek a lábaknak az anyaga ISO 48:1994 szerinti 60 IRHD – 80 IRHD *Rockwell* keménységű természetes kaucsukkeverék.

  Az MSZ EN 1097-2:2000 szabvány szerinti ütőkosos ütővizsgálatot hazánkban nem alkalmazzák, tudomásunk szerint ilyen berendezéssel itthon nem is rendelkezünk. Ez az európai eljárás csak elvi hasonlatosságot mutat az egykori MSZ 1991:1960 szabvány szerinti, zúzottkő vizsgáló *Stübel*-féle ejtőgéppel és kőkocka vizsgáló *Föppl*-féle ejtőgéppel.

  Megjegyezzük, hogy az MSZ EN 1097-2:2000 szabványban a keménységre vonatkozóan hivatkozott, nálunk nem honosított EN 10109-1:1994 szabványt az EN ISO 6508-1:1999 szabvány érvénybeléptekor visszavonták. Ez utóbbi 2005 évi verzióját vezették be 2006-ban hazánkban (MSZ EN ISO 6508-1:2006).

- A visszavont MSZ 18290-5:1984 szabvány szerinti polirozó berendezés kerékabroncsának gumija (55 ± 5) IRHD *Rockwell*, illetve (55 ± 5) *Shore* keménységű legyen az MSZ 494:1983 (visszavont) szabványnak megfelelően mérve. Ugyanilyen keménységű kell legyen 20 °C hőmérsékleten a még érvényes MSZ 18290-6:1985 szabvány szerinti csúszási ellenállás mérő (SRT, illetve PKS jelű) inga csúszógumija.

  Az MSZ 18290-5:1984 nemzeti szabványt az MSZ EN 1097-8:2001 európai szabvány váltotta fel. Az MSZ EN 1097-8:2001 szerint csiszológép (polirozó berendezés) kerékabroncsának gumija (69 ± 3) IRHD *Rockwell* keménységű (ISO 7619) kell legyen. Ugyanez a szabvány írja le az érdességmérő ingás készüléket, és úgy rendelkezik, hogy az inga csúszógumijának keménysége a következő táblázatnak feleljen meg. (Az MSZ EN 1097-8:2001 szabvány az ingás készülék nálunk SRT-nek nevezett skáláját mérőskálának (Meßskale), a nálunk PKS-nek nevezett skáláját F-skálának nevezi.)

Érdességmérő inga csúszógumijának tulajdonsága	Hőmérséklet, °C				
	0	10	20	30	40
Visszapattanási rugalmasság (%) [a]	43-49	58-65	66-73	71-77	74-79
Keménység (IRHD) [b]	53-65	53-65	53-65	53-65	53-65

[a] ISO 4662 nemzetközi szabvány szerinti *Lüpke* visszapattanási rugalmasság-mérés

[b] Nemzetközi gumikeménységi fokozat ISO 48 nemzetközi szabvány szerint

VICKERS KEMÉNYSÉG

A *Vickers* keménység jele:

Vickers keménység értéke, HV betűjel, terhelőerő / terhelési idő

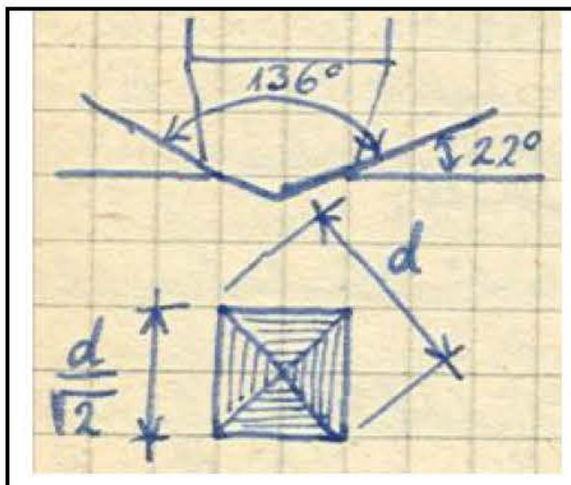
Például, ha a Vickers keménységmérő készülék gyémánt gúlájára ható 10 kp (98,07 N) terhelőerő 15 másodpercig történt működtetésével kapott Vickers keménység értéke HV = 18,5 kp/mm^2, akkor a Vickers keménység jele:

18,5 HV 10/15

Vickers keménységgel bármilyen keménységű acél jellemezhető. Helyi keménységek vizsgálatára leginkább ez a módszer alkalmas.

A *Vickers keménységet* az MSZ EN ISO 6507-1:2006 szabvány szerint kell vizsgálni, korábban az MSZ 105-12:1986 szabvány szerint vizsgáltuk..

A vizsgálat során a fényezett, négyzetalapú gúla alakú gyémánt nyomótestet – amelynek szemben fekvő palástlapjai (136 ± 0,5) fokos szöget zárnak be egymással – *F* terhelőerővel folyamatosan nyomjuk a vizsgálandó anyagba, majd az erőt (10 – 15) másodpercig tartjuk az *F* értéken, és után megszüntetjük. A maradó benyomódás két átlóját – HV 3 keménységig 0,1 mm átlóhosszig 0,2 µm pontosan, 0,1 mm átlóhossztól 1,0 µm pontosan, HV 5 keménységtől pedig 1,0 µm pontosan – leolvassuk, és képezzük a két leolvasás átlagát (*d*). A *Vickers keménység* az *F* terhelőerő és a gúla alakú benyomódás *A* felszínének hányadosa. A benyomódás *A* felszíne a *d* átmérővel kifejezve a következőképpen adódik:



$$A = 4 \cdot \left(\frac{d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{\cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1{,}854368}$$

A *Vickers keménység* tehát:

$$HV = \frac{F}{A} = 1{,}854368 \cdot \frac{F\,[kp]}{d^2}$$

A *HV* fenti összefüggésébe az *F* terhelőerő értékét kp-ban, a *d* átlóhosszat mm-ben kell behelyettesíteni. Ha az *F* terhelőerő értékét N-ban fejezzük ki, akkor a *HV* összefüggés alakja a következő:

$$HV = \frac{F}{A} = 0{,}189086 \cdot \frac{F\,[N]}{d^2}$$

Például, ha 10 kp = 98,07 N terhelőerő alkalmazása során a benyomódás átlóhosszainak átlaga 1,000 mm, akkor a *Vickers* keménység értéke HV = 18,5. Az ilyen acél *Vickers* keménységének jele, mint fenn láttuk: 18,5 HV 10/15.

Ha nem sík felületű, hanem gömb vagy henger alakú testek keménységét vizsgáljuk, akkor a *Vickers* keménység összefüggése a

$$HV = 1{,}854368 \cdot \frac{F\,[kp]}{(d+C)^2}$$

alakot ölti, ahol C az alkalmazandó korrekciós tényező (MSZ 105-12:1986).

A *Vickers* keménység mérés során az alkalmazható terhelőerők például a következők:

HV 0,5	HV 1	HV 2	HV 3	HV 5	HV 10	HV 20	HV 30	HV 50	HV 100
0,5 kp	1 kp	2 kp	3 kp	5 kp	10 kp	20 kp	30 kp	50 kp	100 kp
4,903 N	9,807 N	19,614 N	29,421	49,035	98,07	196,14	294,21	490,35	980,7 N
~ 5 N	~ 10 N	~ 20 N	~ 30 N	~ 50 N	~ 100 N	~ 200 N	~ 300 N	~ 500 N	~ 1000 N

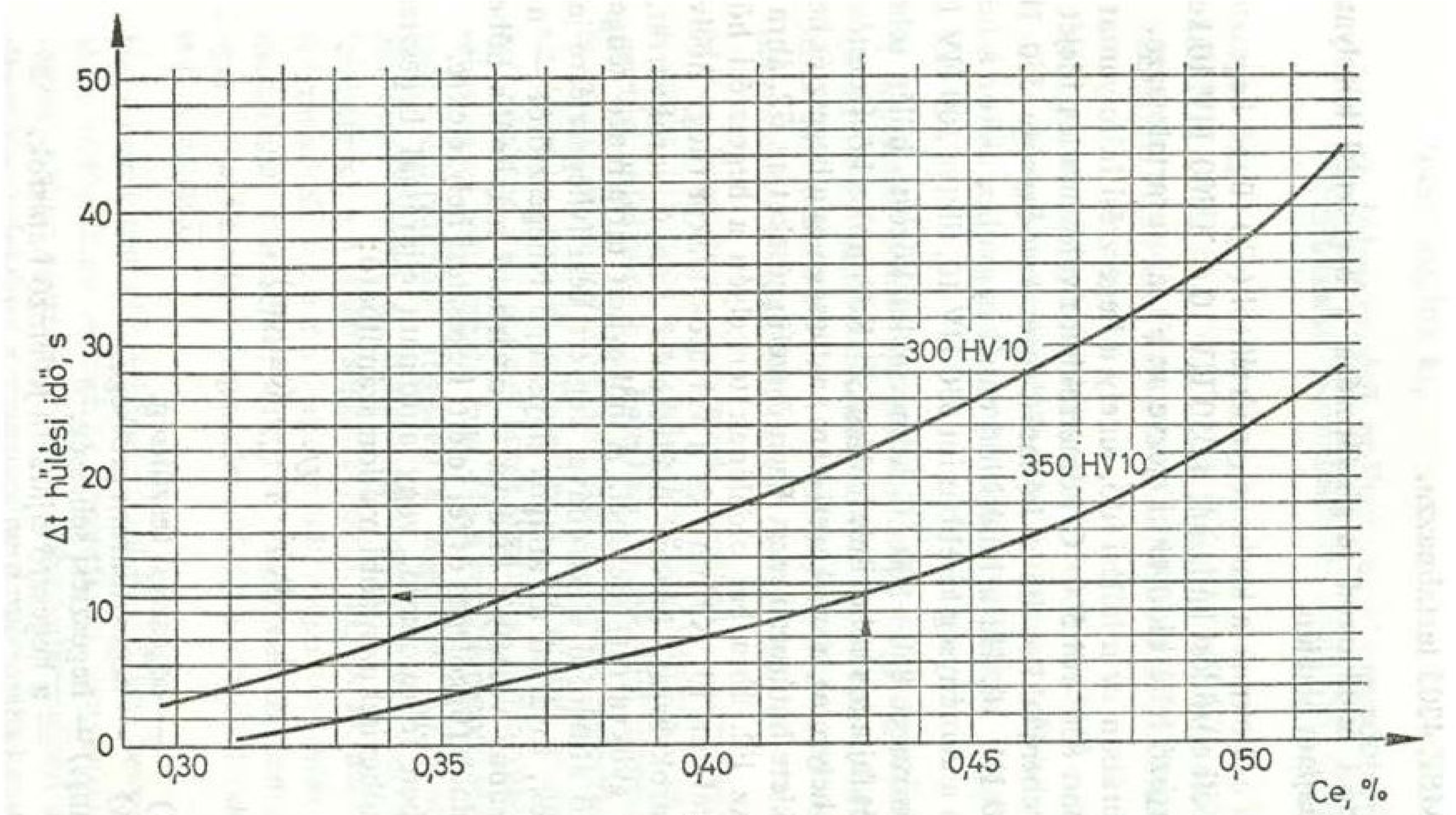
A *Vickers* keménység mérés és a *mikro-Vickers* keménység mérés között nincs éles határ, *mikro-Vickers* keménységről általában akkor beszélünk, ha a terhelőerő 1 kp-nál vagy 2 kp-nál kisebb.

A *Vickers* keménység értékek meghatározására a terhelőerőből és benyomódási átlóhosszakból az MSZ EN ISO 6507-4:2006 szabvány tartalmaz táblázatokat.

Példák a *Vickers* keménység alkalmazására

- Az MSZ EN 12390-4:2000 szabvány előírja, hogy a beton *nyomószilárdság vizsgáló gépek* nyomólapjait és alátétlemezeit MSZ EN ISO 6507-1:2006 szerinti legalább 550 HV 30 *Vickers* (53 HRC *Rockwell*) keménységű acélból kell készíteni. A nyomószilárdság vizsgáló gép hosszváltozás mérő berendezésének oszlopait nikkel-króm acélból kell készíteni, és 370 HV 30 *Vickers* (38 HRC *Rockwell*) keménységűre kell edzeni.

- Az ötvözetlen szerkezeti acélok mára már visszavont MSZ 500:1974 szabványa megemlítette, hogy a hegesztett kötés (hideg) repedésmentességét biztosító hegesztési munkarend hőbevitelével a mára ugyancsak visszavont MSZ 6280:1974 szabvány foglalkozik. A hegesztett szerkezetek készítésére való acélok MSZ 6280:1974 szabványa az F2. függelékben azt írta, hogy ha a hegesztést kézi ívhegesztéssel és bázikus bevonatú elektródával, aktív védőgázas hegesztéssel, illetve fedettívű hegesztéssel végzik, akkor egyrétegű varrat hőhatásövezetében a repedésképződés elkerülése érdekében a megengedhető legnagyobb *Vickers* keménység 350 HV 10, egyéb esetben 300 HV 10. Az olyan acél, amely a hegesztés hatására a hegesztés környezetében ennél nagyobb keménységű lesz, az nem vagy rosszul hegeszthető, mert a hő és a gyors lehűlés hatására szövetszerkezete edződik, martenzitessé, nagykeménységűvé válik. A kritikus lehűlési idő (Δt) az MSZ 6280:1974 szabvány szerint az acél szénegyenértékétől (szokásos jelölése $C_{ekv}{}^{\%}$ vagy jelen esetben C_e) a következő ábra szerint függ:



F1. ábra.

350 HV 10 és 300 HV 10 maximális keménységhez tartozó hűlési idő a karbonegyenértékszám (C_e) függvényében

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \%$$

A Δt a hegesztési hőfolyamat hűlési szakaszában a 850 °C hőmérsékletről az 500 °C hőmérsékletre való lehűlés idejét jelenti.

Például, ha a szénegyenérték C_e = 0,43 %, akkor 11 másodpercnél rövidebb lehűlési idő esetén a keménység nagyobb lesz, mint 350 HV 10, és fennáll a kötés repedésveszélye.

MIKRO-VICKERS KEMÉNYSÉG

A *mikro-Vickers* keménységet ugyanúgy jelölik, mint a *Vickers* keménységet, azzal a különbséggel, hogy találkozhatunk a HVM betűjel használatával is.

A *mikro-Vickers* keménység vizsgálatot korábban az MSZ 105-8:1980 szabvány tárgyalta, ma a hegesztési varratok mikrokeménységének meghatározásával az MSZ EN 1043-2:1999 és az MSZ EN ISO 14271:2002 szabvány foglalkozik.

A *mikro-Vickers* keménységmérő berendezések lényegüket tekintve abban különböznek a *Vickers* keménységmérőktől, hogy azoknál kisebb terhelőerővel (általában legfeljebb 2 kp) dolgoznak, ezért felfoghatók a *Vickers* keménységmérők kicsinyített változatának.

A *mikro-Vickers* keménység mérés során az alkalmazható terhelőerők például a következők:

HV 0,005	HV 0,010	HV 0,025	HV 0,05	HV 0,1	HV 0,2	HV 0,3	HV 0,5	HV 1	HV 2
0,005 kp	0,010 kp	0,025 kp	0,050 kp	0,100 kp	0,200 kp	0,300 kp	0,500 kp	1,000 kp	2,000 kp
0,049 N	0,0981 N	0,2452 N	0,4903 N	0,9807 N	1,961 N	2,942 N	4,903 N	9,807 N	19,614 N
~ 0,05 N	~ 0,1 N	~ 0,25 N	~ 0,5 N	~ 1 N	~ 2 N	~ 3 N	~ 5 N	~ 10 N	~ 20 N

A *mikro-Vickers* keménység értékek meghatározására a terhelőerőből és benyomódási átlóhosszakból az MSZ EN ISO 6507-4:2006 szabvány tartalmaz táblázatokat.

Példák a *mikro-Vickers* keménység alkalmazására

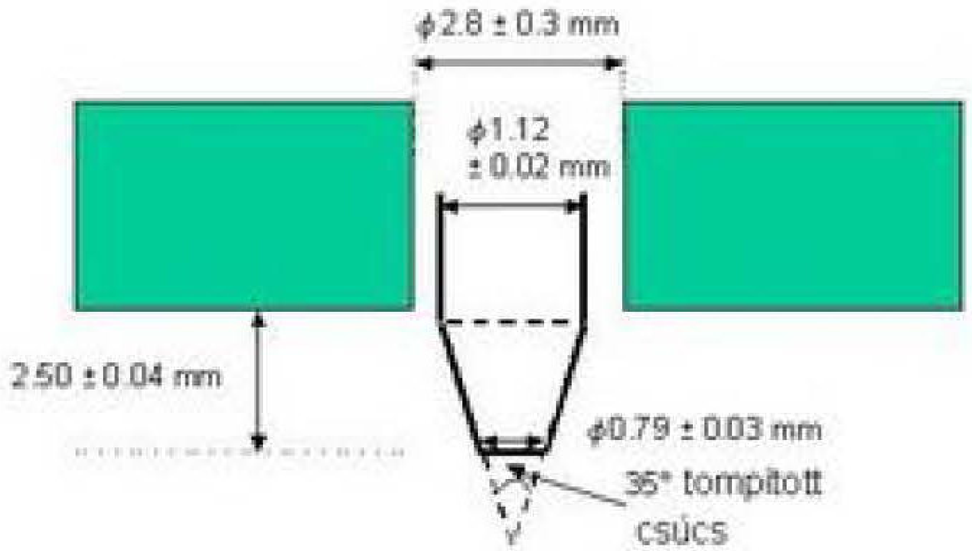
- A rozsdamentes acélok keménységét *mikro-Vickers* keménységgel szokták kifejezni.
- A fényezett felületű, 10 térfogat%-nál nem nagyobb porozitású építési kőanyagok mikrokeménységét az MSZ 18290-4:1982 szabvány szerint a mikro-Vickers keménységgel lehet kifejezni. A vizsgálat során az egymással (136 ± 0,5) fokos szöget bezáró palástlapú gyémántgúlát F = 0,1 kp (0,9807 N) terhelőerővel kell a vizsgált anyagba nyomni, majd (10 – 15) másodpercig ezen az értéken kell tartani, és után meg kell szüntetni. A benyomat átlóhosszát mérőmikroszkóppal legalább 0,2 μm pontossággal kell megmérni. A mikro-Vikers keménységet a benyomódás d átlóhosszából (két átló átlagos hosszából) ugyanúgy kell kiszámítani, mint a Vickers keménység tárgyalásánál láttuk.

SHORE KEMÉNYSÉG

Shore keménység mérése során egy tompa tű benyomásával szembeni ellenálló képesség mértékét mérik. Az abszolút kemény test ***Shore keménysége*** 100, ekkor a tű egyáltalán nem hatol az anyagba. Shore-keménységgel jellemzik például **az acélokat, a gumi, poliuretán, PVC és más termoelasztoplasztikus műanyagokat**.

Példák a Shore keménység alkalmazására

- Az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti *Böhme*-féle koptatógép koptatópályája ma is az eredetinek megfelelő keménységű öntöttvas. A koptatópálya megkövetelt keménységének tartományát (*Shore* 30 – 50) a DIN szabványok 1965-ig (DIN 52108:1947), az MSZ szabványok 1981-ig (MSZ 1991:1967, MSZ 4715-4:1972) *D* típusú *Sklerograffal* mérhető, mm-ben kifejezett *Shore* visszapattanási értékkel adták meg. Ma – mint fenn láttuk – a *Böhme*-féle koptatógép koptatópályájának keménységét *Brinell* keménységben adják meg.
- A *Rockwell* keménység tárgyalásánál láttuk, hogy a visszavont MSZ 18290-5:1984 szabványban a polirozó berendezés kerékabroncsa gumijának keménységét és a még érvényes MSZ 18290-6:1985 szabványban a csúszási ellenállás mérő inga csúszógumijának keménységét *Shore* keménységben is előírták (55 ± 5 *Shore*).



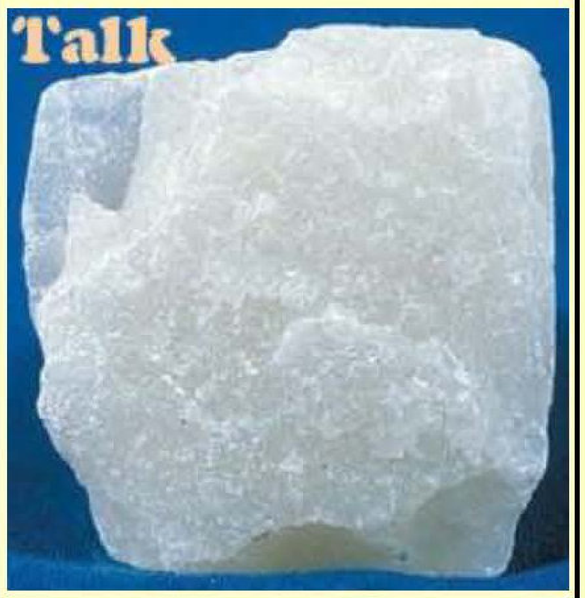
Shore keménységmérés vázlata

SHD0002 Shore keménységmérő,
analóg, Shore D skálával,
gumik, műanyagok stb. keménységének meghatározására

ZWICK típusú Sklerograf
A leolvasott visszapattanási értéket Shore D, Rockwell C, Rockwell B, és Brinell keménységre lehet átszámítani.

DSDS001 Shore keménységmérő,
digitális, Shore D skálával,
gumik, műanyagok stb. keménységének meghatározására

THS-210 Shore keménységmérő,
digitális, Shore D skálával,
gumik, műanyagok stb. keménységének meghatározására



Poldi-kalapács

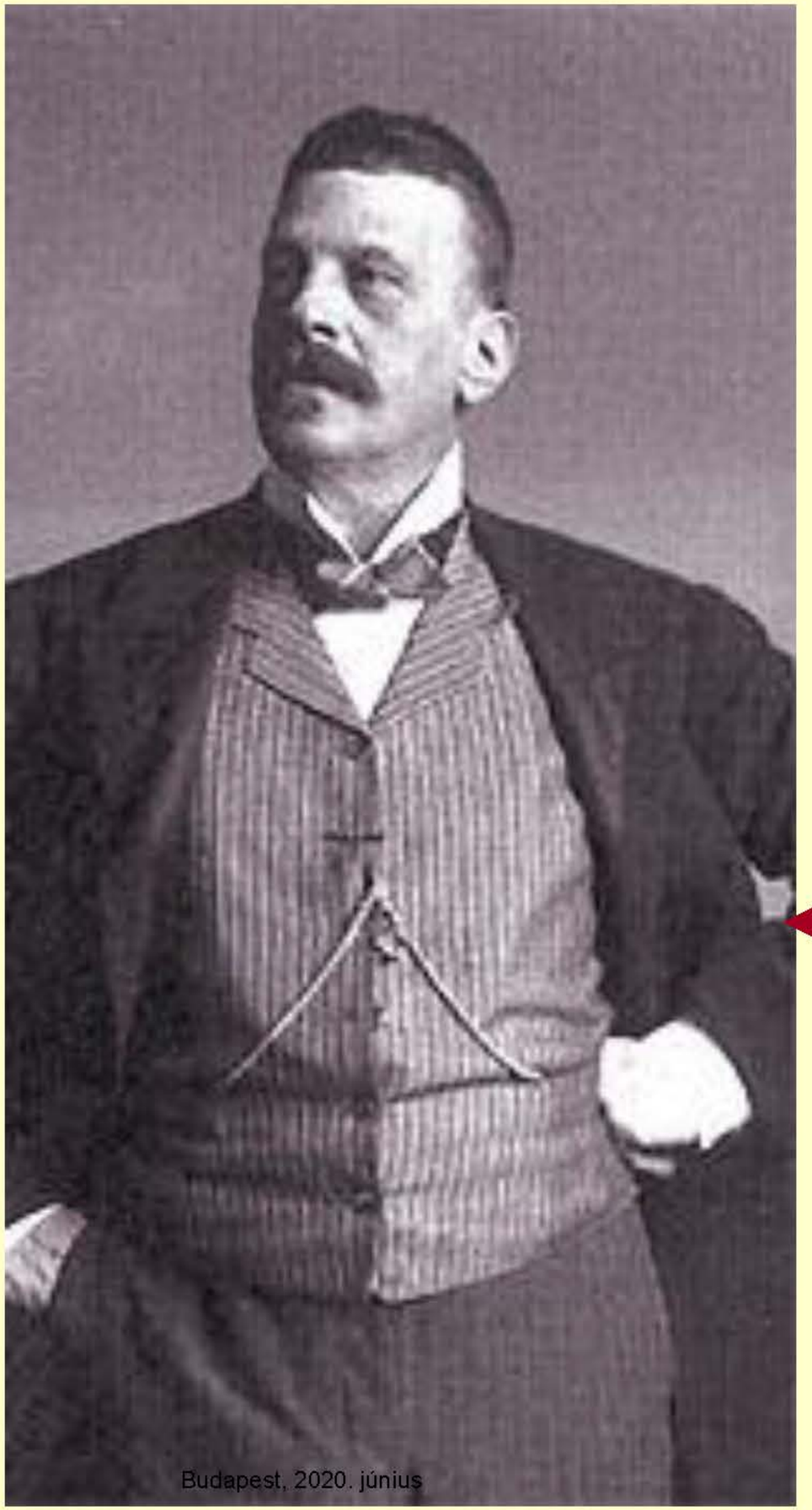
Gyémánt

A *Poldi*-kalapács egy hordozható keménységmérési eszköz, amellyel az acél, bronz, alumínium, réz, sárgaréz és öntöttvas (szürke- és kéregöntvények), tehát a fémek *Brinell*-keménységének közelítő értékét lehet meghatározni,

- **ha a vizsgált elem tömege ≥ 5 kg;**
- **ha a 70 kp/mm² = 686,5 N/mm² névleges szakítószilárdságú (ténylegesen 65-75 kp/mm² = 637,5-735,5 N/mm² szakítószilárdságú), névlegesen $HB_{etalon\text{-}névleges}$ = 197 kp/mm² *Brinell*-keménységű (ténylegesen 0,928×197 = 183 és 1,071×197 = 211 közötti HB_{etalon} *Brinell*-keménységű) etalon acélrúdon keletkezett benyomódás átmérője ≤ 4,5 mm;**
- **ha a benyomódások középpontjának egymástól való távolsága az etalon acélrúdon ≥ 15 mm.**

A *Poldi*-kalapácsot beépített fémszerkezetek vagy telepített laboratóriumi berendezésekbe nagy méretük folytán be nem helyezhető fémpróbatestek *Brinell*-keménységének vizsgálatára használjuk.

A következőkben elsősorban az acél anyagok, mint szerkezeti elemek *Poldi*-kalapácsos keménységmérésével foglalkozunk.



A Poldi-kalapács nevét
a Prága melletti Kladno városban
működő, *Hut Poldi* elnevezésű
cseh acélmű neve után kapta,
ahol 1890-1900 között
fejlesztették ki.

Hut = kohó

A *Hut Poldi* acélművet

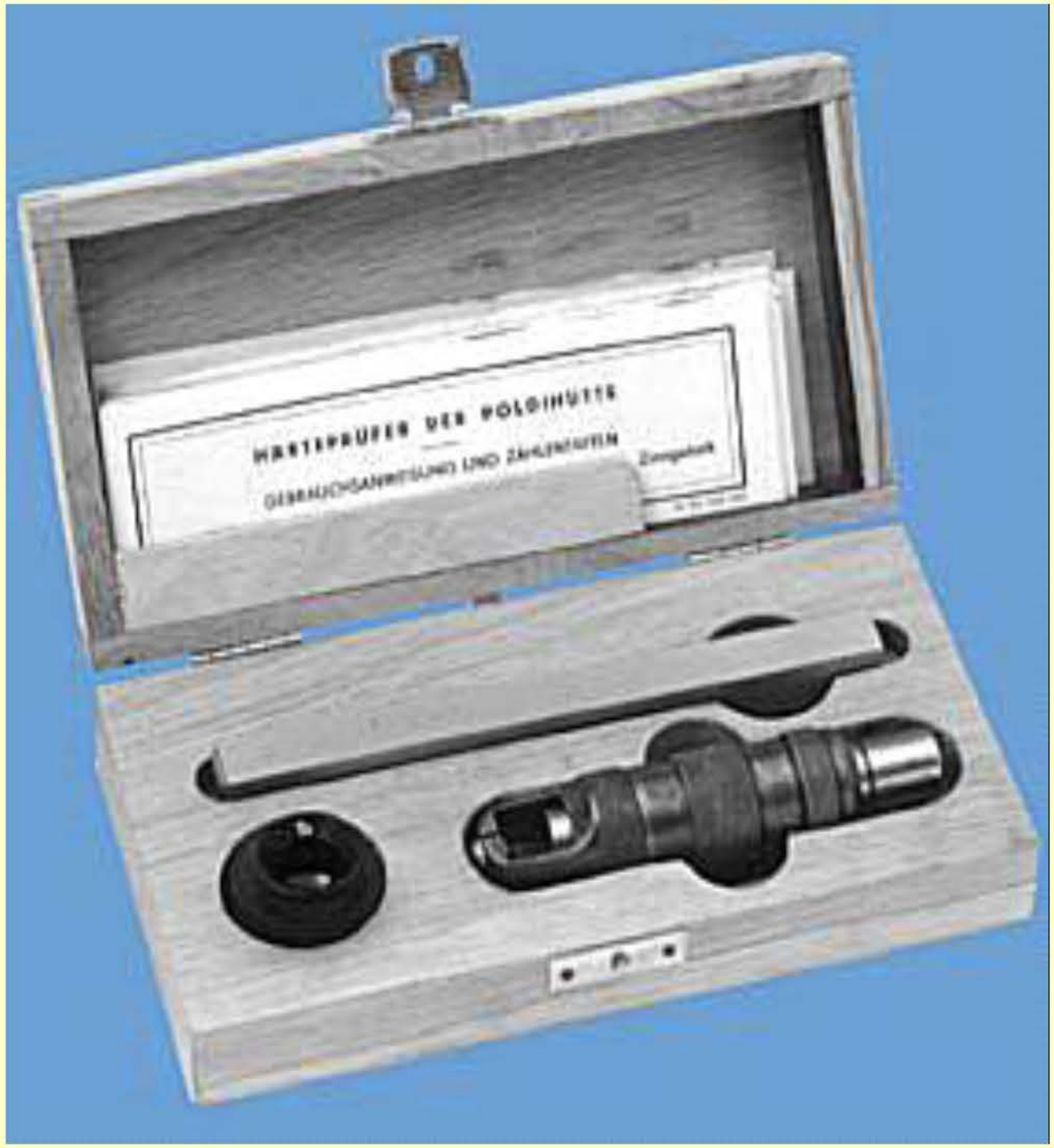
Karl Wittgenstein

(1847-1913)

alapította 1889-ben,

és a kohászati üzemnek felesége,
Leopoldine Kallmus **asszony**
(tehetséges zongoraművésznő)

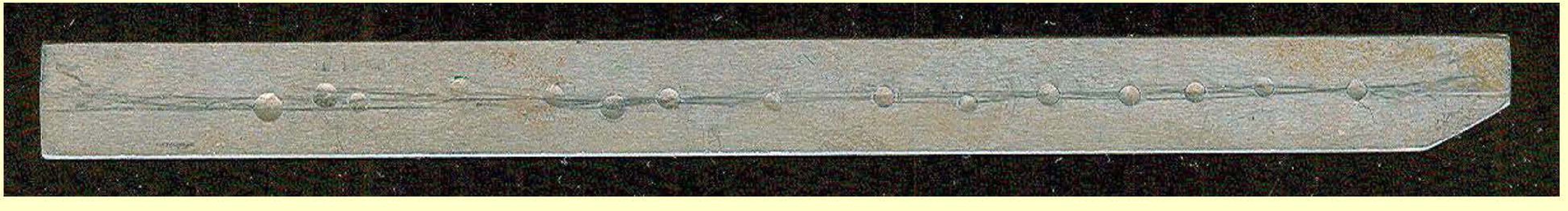
Poldi-kalapács



Poldi-kalapács fémek keménységének mérésére

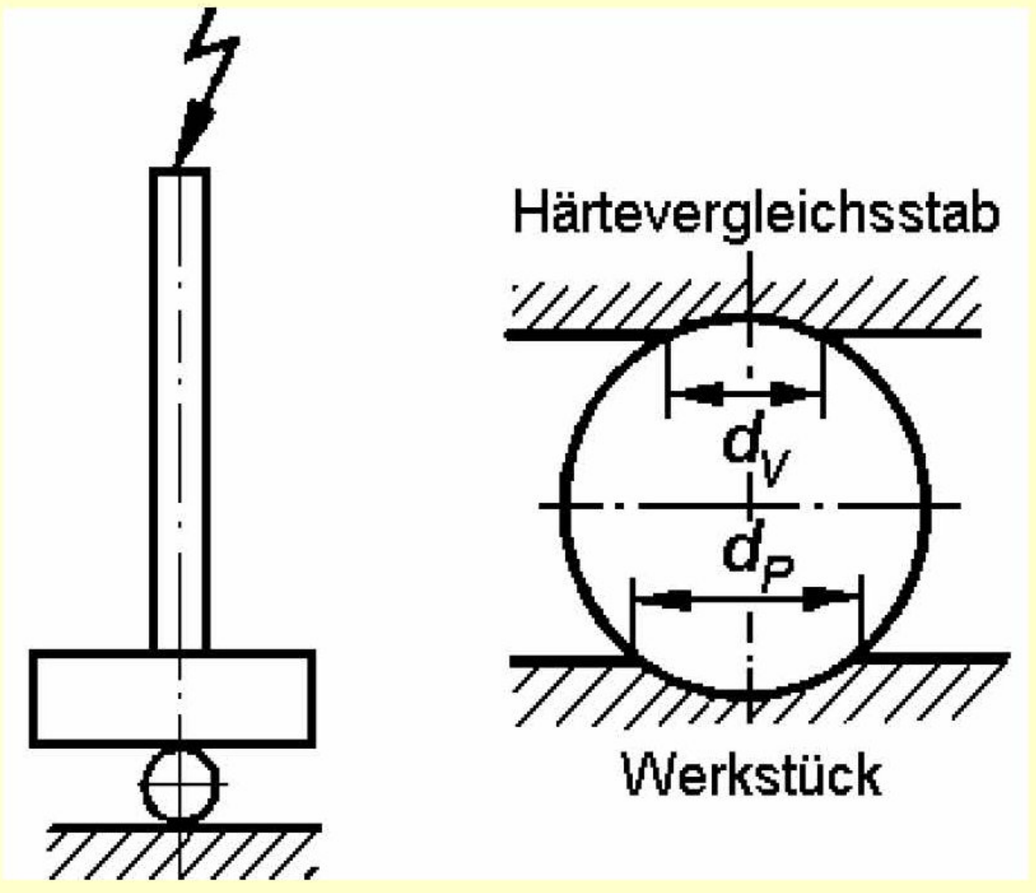
Poldi-kalapács fémek keménységének mérésére

Ütésnyomok a Poldi-kalapáccsal vizsgált próbatesten



„α” az etalon rúd névleges *Brinell*-keménységének kalibrációs szorzója (kalibrációs korrekciós tényező) a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján

Felül az etalon rúd (Härtevergleichsstab)



Alul a vizsgált próbatest (Werkstück)

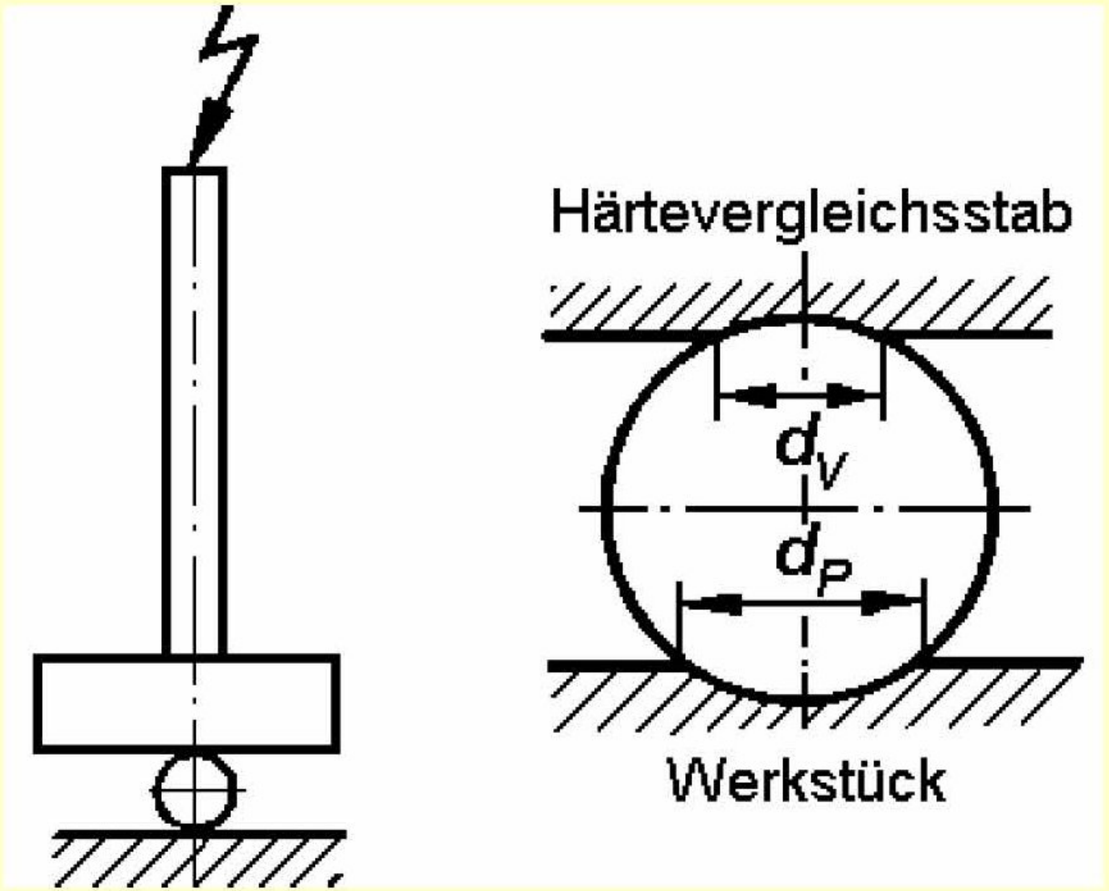
Poldi-kalapács

HB_p = a próbatest Brinell keménysége
HB_v = az etalon rúd Brinell keménysége
D = a golyó átmérője
A méretek mm-ben értendők.

A ***Poldi*-kalapács** a fémek, így például az ötvözetlen vagy kevéssé ötvözött, 20 mm-nél vastagabb, legalább 5 kg tömegű acélok *Brinell*-keménységének becslésére alkalmas hordozható eszköz, amelynek tartozéka az ismert *Brinell*-keménységű etalon acélrúd (hasáb).

α szorzó (korrekciós tényező) a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján

Felül az etalon rúd (Härtevergleichsstab)



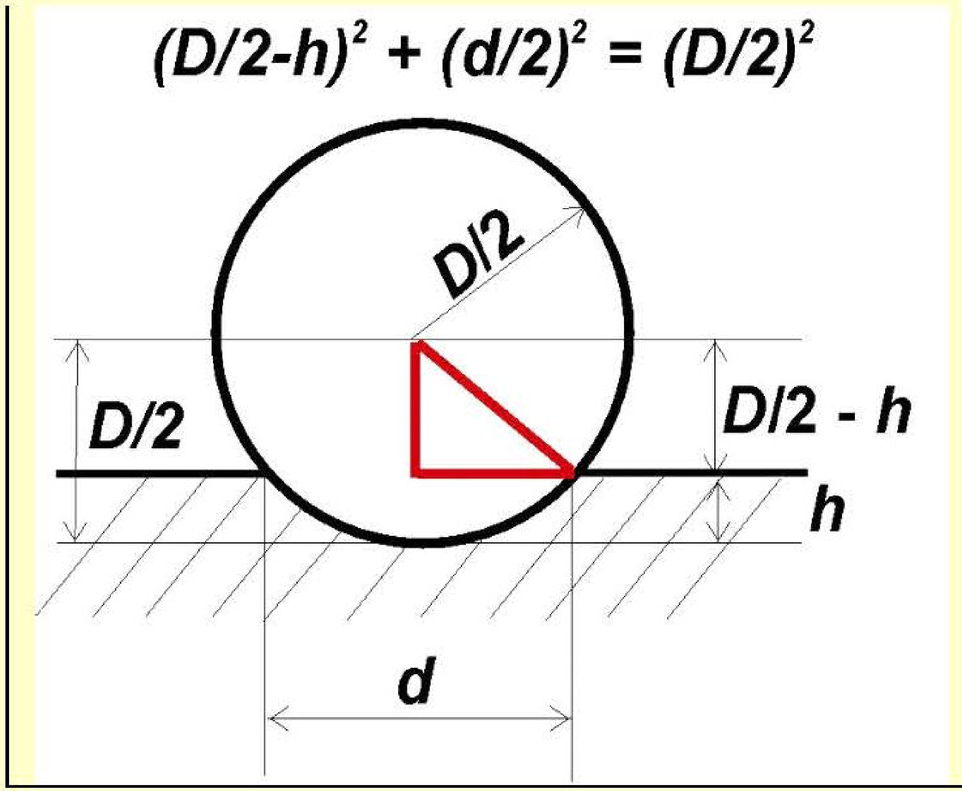
Alul a vizsgált próbatest (Werkstück)

Poldi-kalapács

HB_p = a próbatest Brinell keménysége
HB_v = az etalon rúd Brinell keménysége
D = a golyó átmérője
A méretek mm-ben érten[illegible]
A ***Poldi*-kalapács**[illegible] z ötvözetle[illegible] mm-né[illegible] kg tömegű a[illegible] segének becslésére alk[illegible] ható eszköz, amelynek tart[illegible] az ismert *Brinell*-keménységű etalon rúd (hasáb).

A továbbiakban használt jelölések:
d_v helyett d_{etalon}, HB_v helyett HB_{etalon},
d_p helyett $d_{fém}$, HB_p helyett HB_{Poldi}

A *Poldi*-keménység kiszámításához szükséges összefüggés felírásához idézzük fel a *Brinell*-keménység összefüggését:



$$HB = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{2 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

mert a *Pitagorasz*-tétel alkalmazásával felírhatjuk, hogy:

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

A *Poldi*-keménység főképp az ütés *dinamikus* volta folytán tér el a *Brinell*-keménységtől, amely utóbbi mérése során az erőátadás *statikus*.

Ha feltételezzük, **hogy a *D* átmérőjű acélgolyóval rendelkező *Poldi-kalapács*ra mért egyazon ütés következtében a *Poldi-kalapács* etalon acélrúdjában keletkezett benyomódási mélység (h_{etalon}) és a vizsgált fémben (például acélban) keletkezett benyomódási mélység ($h_{fém}$) hányadosa ($h_{etalon}/h_{fém}$) *fordított arányban áll* a *Poldi*-kalapács etalon rúdja *Brinell*-keménységének (HB_{etalon}) és a vizsgált fém *Brinell*-keménységének (HB_{Poldi}) hányadosával (HB_{etalon}/HB_{Poldi}), akkor az előző diakocka szerint felírhatjuk, hogy:**

$$HB_{Poldi} = HB_{etalon} \times \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{etalon}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_{fém}^2}}$$

Az így kapott eredményt még meg kell szorozni a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján található α korrekciós tényezővel.

A HB_{Poldi}-keménység kiszámítására a d_{etalon} és $d_{fém}$ benyomódási átmérőkből táblázatok állnak rendelkezésre, de e *Poldi*-táblázatokban szereplő *Brinell*-keménységek (HB_{Poldi}) értékei eltérnek a fenti összefüggéssel kiszámított értékektől.

Ennek oka az lehet, hogy míg a fenti képletben nem vették figyelembe a *Brinell*-vizsgálat statikus és a *Poldi*-vizsgálat dinamikus jellegének eltérő hatását a maradó alakváltozásra (a leolvasott benyomódási átmérőkre), addig a szabványok és a szabványokat követő műszergyártói használati útmutatók táblázatait feltehetőleg ennek az eltérésnek a figyelembevételével szerkesztették meg.

Erről részletesebben a

http://www.betonopus.hu/szakmernoki/180-poldi.pdf

dolgozatban lehet olvasni.

A STATIKUS ÉS DINAMIKUS VIZSGÁLAT KÜLÖNBSÉGE

- Ha az anyag igénybevételét folyamatosan növeljük egészen a tönkremenetelig, akkor **statikus vizsgálatot** végzünk. Ebben az esetben 1 százalék alakváltozás 1-10 s alatt megy végbe.
- Ha a szerkezeti anyagot ütésszerű dinamikus hatásnak tesszük ki, akkor **dinamikus vizsgálatokról** beszélünk. Ekkor az anyag 1 százalékos alakváltozáshoz (10^{-2})-(10^{-6}) s kell.

Forrás: Dr. Gácsi Zoltán: Fémtan II.

http://www.matsci.uni-miskolc.hu/new/files/jegyzetek/femtan2/Femtan_II.pdf

„PCE 1000” típusú hordozható keménység mérõ készülék

„PCE 1000” típusú hordozható készülék fémek keménységének mérésére.

Alkalmas Rockwell B & C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS és Leeb HL keménység mérésére

CHRISTOFOLI-FÉLE EJTŐORSÓ

A *Christofoli-féle ejtőorsó* ma már nem használatos roncsolásmentes betonvizsgáló eszköz. Háromféle méretben gyártották, egy hosszabb felső csőből, egy kiszélesedő alsó részből, ezen egy gyűrűvel, és ennek aljára erősített acél ütőgolyóból állt. Az ejtőorsót a vízszintes betonfelületre ejtve, az ütőgolyó a *Christofoli-féle ejtőorsó* méretétől függő átmérőjű nyomot hagyott a betonon. Függőleges betonfelület vizsgálatánál a gyűrűbe fűzött 1 m hosszú, vízszintesen kifeszített zsinór végén lévő ejtőorsót elengedve, a függőleges felületen a hozzá csapódó ütőgolyó hagyott nyomot. Hasonló elven működő eszközzel vizsgálták, illetve lehet vizsgálni a függőlegesen beépített, illetve függőleges helyzetű üvegtáblák ütésállóságát.

ÁSVÁNYOK KEMÉNYSÉGE

Ásványok karcolási keménységét a **Mohs-féle keménységgel (Mohs-skálával)** jellemzik. A Mohs-skálát 1812-ben ***Friedrich Mohs*** német mineralógus dolgozta ki. A Mohs-skálában a zsírkő keménységét 1-nek, a gyémántét 10-nek tekintik.

A **Mohs-keménységi skála** csak relatív értékeket ad (minden ásvány karcolja a nála puhábbakat).

A Mohs-skála értékei a következők:

1. talk, zsírkő (körömmel is megkarcolható)
2. gipsz (körömmel is megkarcolható)
3. kalcit (rézpénzzel megkarcolható)
4. fluorit (késsel karcolható)
5. apatit (üveggel megkarcolható)
6. ortoklász, földpátok (az üveget megkarcolják)
7. kvarc (az üveget és a földpátokat megkarcolja)
8. topáz (az üveget és a kvarcot megkarcolja)
9. korund (az üveget és a topázt megkarcolja)
10. gyémánt (a legkeményebb valamennyi ásvány között)

Magyarázatok:

Gyémánt: A szén három eltérő allotrop módosulatának egyike. Rendkívül kemény és rideg. Nagyon régóta ismert, de csak a XVIII. század végén mutatták ki, hogy a szén egyik allotrop módosulata. További allotrop módosulatai a grafit és a fullerének.

Zsírkő, talkum: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ víztartalmú magnézium-szilikát, zsíros tapintású, többnyire halványszürke, puha ásvány.

Allotrop átalakulás: A kémiai reakciók egy speciális fajtája, amikor az elem egyik *allotrop* módosulata átalakul a másikká. Például, amikor a grafit igen nagy nyomáson gyémánttá alakul.

DR. SCHMIDT SÁNDOR műegyetemi professzor (1855-1904) előadása *a kristályok keménységéről* (1883)

Jó szívvel ajánlom szíves figyelmükbe ***DR. SCHMIDT SÁNDOR*** műegyetemi professzor Budapesten, 1883. december 7-én, a Természettudományi Társulat estélyén elhangzott, és írásban is közzétett „A kristályokról” című előadásának ***a kristályok keménységéről*** szóló részletét, amelyet e sorokra kattintva lehet elolvasni.

Felhasznált irodalom

MNOSZ 1991:1951	Természetes kövek vizsgálati módszerei
MSZ 105-8:1980	Fémek mechanikai vizsgálata. Mikrokeménység-mérés Vickers szerint
MSZ 105-12:1986	Fémek mechanikai vizsgálata. Keménységmérés Vickers szerint HV 5-től HV 100-ig
MSZ 339:1962	Melegen hengerelt betonacél
MSZ 339:1980	Melegen hengerelt betonacél
MSZ 494:1983	Gumi keménységének meghatározása
MSZ 500:1974	Általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acél
MSZ 1991:1960	Természetes építőkövek vizsgálati módszerei
MSZ 1991:1967	Természetes építési kövek és kőzúzalékok vizsgálati módszerei
MSZ 4715-4:1972	Megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata
MSZ 6259:1974	Időjárásálló szerkezeti acél
MSZ 6280:1974	Acélok hegesztett szerkezetekhez
MSZ 11300:1959	Zúzottkő és zúzalék egyszer tört és osztályozott (Z jelű)
MSZ 18290-1:1981	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Kopási vizsgálat Böhme módszerrel
MSZ 18290-4:1982	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Mikrokeménység mérése Vickers szerint.
MSZ 18290-5:1984	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Próbahalmazok csiszolódási vizsgálata
MSZ 18290-6:1985	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Építő- és útburkoló kövek csúszási ellenállásának vizsgálata
MSZ EN 1043-2:1999	Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Keménységvizsgálat. 2. rész: Hegesztett kötések mikrokeménységvizsgálata
MSZ EN 1097-2:2000	Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása. Módosítás: MSZ EN 1097-2:1998/A1:2007
MSZ EN 1992-1-1:2005	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1992-1-2:2005	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre

MSZ EN 1992-2:2006	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 2. rész: Betonhidak. Tervezési és szerkesztési szabályok
MSZ EN 10027-1:2006	Acélok jelölési rendszere. 1. rész: Az acélminőségek jele
MSZ EN 10080:2005	Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények
MSZ EN 12390-4:2000	A megszilárdult beton vizsgálata. 4. rész: Nyomószilárdság. Előírások a vizsgálóberendezésekre
MSZ EN 12504-2:2001	A beton vizsgálata szerkezetekben. 2. rész: Roncsolásmentes vizsgálat. A visszapattanási érték meghatározása
MSZ EN ISO 868:2003	Műanyagok és keménygumi. A benyomódásos keménység meghatározása keménységmérővel (Shore-keménység)
MSZ EN ISO 6506-1:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás
MSZ EN ISO 6506-2:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 2. rész: A keménységmérő gépek ellenőrzése és kalibrálása
MSZ EN ISO 6506-3:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 3. rész: A keménység-összehasonlító lapok kalibrálása
MSZ EN ISO 6506-4:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 4. rész: A keménységértékek táblázata
MSZ EN ISO 6507-1:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás
MSZ EN ISO 6507-2:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 2. rész: A keménységmérő gépek ellenőrzése és kalibrálása
MSZ EN ISO 6507-3:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 3. rész: A keménység-összehasonlító lapok kalibrálása
MSZ EN ISO 6507-4:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 4. rész: A keménységértékek táblázata
MSZ EN ISO 6508-1:2006	Fémek. Rockwell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skálák)
MSZ EN ISO 6508-2:2006	Fémek. Rockwell-keménységmérés. 2. rész: A keménységmérő gépek ellenőrzése és kalibrálása (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skálák)
MSZ EN ISO 6508-3:2006	Fémek. Rockwell-keménységmérés. 3. rész: A keménység-összehasonlító lapok kalibrálása (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skálák)

MSZ EN ISO 14271:2002 Ellenállás-ponthegesztéssel, vonalhegesztéssel és dudorhegesztéssel készített varratok Vickers-keménységének (kis terhelésű és mikrokeménység-) mérése

DIN 52108:1947 Prüfung von Naturstein. Abnutzbarkeit durch Schleifen

DIN 52108:1965 és DIN 52108:1968 Prüfung anorganischer nichtmetellischer Werkstoffe. Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme. Schleifscheiben-Verfahren

EN 10109-1:1996 Metallic materials. Hardness test. Rockwell test (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K) and Rockwell superficial test (scales 15 N, 30 N, 45 N, 15 T, 30 T and 45 T)

ISO 48:1994 Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 (RHD)

ISO 4662 Rubber. Determination of rebound resilience of vulkanizates

Bognár László: Ásványhatározó. Gondolat Kiadó. Budapest, 1987.

Láczay-Fritz Oszkár: A természetes építőkövek elmállása és gyors pusztulásának megakadályozása. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda. Budapest, 1930. pp. 27. és pp. 40-41.

Reznák László: Kő és kohósalakkő. Útlaboratóriumi kézikönyvek. Útügyi Kutató Intézet 35. sz. kiadványa. Budapest, 1965. pp. 51-52. és pp. 107-110.

Weiss György: Építőipari laboratóriumi méréstechnika és műszerismeret. II. kötet. Építésügyi Minőségellenőrző Intézet 25. kiadványa. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1974.

http://www.freeweb.hu/hmika/Lexikon/Html/Kemenyse.htm
(Horváth Miklós honlapja)

http://www.shore.kemenysegmero.hu/shore_kemenysegmero.html
(Absolute Méréstechnika Kft. honlapja)

http://www.measureshop.biz/en/measuring-instruments/counters-thermometers-and-stop-watches/hardness-testers/rebound-hardness-tester-sklerograf.html

http://www.smt-messzeuge.de/GR15-02.pdf

http://de.wikipedia.org/wiki/Talkum#Talkum

http://www.debeerscanada.com/
(De Beers Canada Inc. honlapjáról Faye Logan gyémánt fényképe)

http://www.tiefbohr-lexikon.de/Buchstabe_H/Hartevergleichstabelle/hartevergleichstabelle.html

http://www.drahpo.de/de/pdf/anlagen/S11%20Härtevergleichstabelle.pdf

http://www.pokolm.de/extra/PDF/d_TEC_19.pdf

http://www.stahlbecker.de/pdf/haertevergleichstabelle.pdf

http://www.saarstahl.com/deutsch/produkte/waermebehandlung_eigenschaften/haertevergleich/haertevergleich.htm

http://www.hertsch.ch/1213_tabellen.html

http://www.litzkuhn-niederwipper.de/deutsch/anwendungstechnik/pdf/haertevergleichstabellen.pdf

http://www2.mitutoyo.de/uploads/media/Haertevergleichstabelle.pdf

http://www.kennametal.com/images/pdf/brands/widia/WIDIA_Technical_GEImm_544-560_2005.pdf

1. táblázat: Ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok és acélöntvények keménységének összehasonlító (átszámítási) táblázata (tájékoztató értékek)

Szakító- (húzó-) szilárdság N/mm^2	Vickers keménység HV kp/mm^2	Brinell keménység HB kp/mm^2	Rockwell keménység, kp/mm^2								Shore keménység (visszapattanás) Sh
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N	
200	63	60,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
210	65	62,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
220	69	66,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
225	70	67,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
230	72	68,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
240	75	71,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
250	79	75,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
255	80	76,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
270	85	80,7	41,0	–	–	–	–	–	–	–	–
285	90	85,5	48,0	82,6	–	–	–	–	–	–	–
305	95	90,2	52,0	–	–	–	–	–	–	–	–
320	100	95,0	56,2	87,0	–	–	–	–	–	–	–
335	105	99,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–
350	110	105	62,3	90,5	–	–	–	–	–	–	–
370	115	109	–	–	–	–	–	–	–	–	–
376	117	111	65,7	–	–	–	–	–	–	–	15
385	120	114	66,7	93,6	–	–	–	–	–	–	–
391	122	116	67,6	–	–	–	–	–	–	–	18
400	125	119	–	–	–	–	–	–	–	–	–
406	127	121	69,8	–	–	–	–	–	–	–	19
415	130	124	71,2	96,4	–	–	–	–	–	–	–
421	132	126	72,0	–	–	–	–	–	–	–	20
430	135	128	–	–	–	–	–	–	–	–	–
450	140	133	75,0	99,0	–	–	–	–	–	–	–
459	143	137	76,4	–	–	–	–	–	–	–	21
465	145	138	–	–	–	–	–	–	–	–	–

1. táblázat folytatódik

1. táblázat folytatása

Szakító- (húzó-) szilárdság N/mm²	Vickers keménység HV kp/mm²	Brinell keménység HB kp/mm²	Rockwell keménység, kp/mm²								Shore keménység (visszapattanás) Sh
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N	
480	150	143	78,7	(101,4)	–	–	–	–	–	–	22
495	155	147	–	–	–	–	–	–	–	–	–
498	156	149	80,8	–	–	–	–	–	–	–	23
510	160	152	81,7	(103,6)	–	–	–	–	–	–	–
530	165	156	–	–	–	–	–	–	–	–	–
545	170	162	85,0	(105,5)	–	–	–	–	–	–	–
548	171	163	85,0	–	(3,3)	–	–	–	–	–	25
560	175	166	–	–	–	–	–	–	–	–	–
569	178	170	86,8	–	(5,4)	–	–	–	–	–	26
575	180	171	87,1	(107,2)	–	–	–	–	–	–	–
595	185	176	–	–	–	–	–	–	–	–	–
604	188	179	89,0	–	(8,0)	–	–	–	–	–	27
610	190	181	89,5	(108,7)	–	–	–	–	–	–	–
616	192	183	90,0	–	(9,0)	–	–	–	–	–	28
625	195	185	–	–	–	–	–	–	–	–	–
640	200	190	91,5	(110,1)	–	–	–	–	–	–	–
648	202	192	91,9	–	(11,5)	–	–	–	–	–	29
660	205	195	92,5	–	–	–	–	–	–	–	–
666	207	197	92,8	–	(12,7)	–	–	–	–	–	30
675	210	199	93,5	(111,3)	–	–	–	–	–	–	–
681	212	201	93,8	–	(13,8)	–	–	–	–	–	31
690	215	204	94,0	–	–	–	–	–	–	–	–
699	218	207	94,6	–	(15,2)	–	–	–	–	–	32
705	220	209	95,0	(112,4)	–	–	–	–	–	–	–
720	225	214	96,0	–	–	–	–	–	–	–	–
732	228	217	96,4	–	(17,5)	–	–	–	–	–	33

1. táblázat folytatódik

1. táblázat folytatása

Szakító- (húzó-) szilárdság N/mm²	Vickers keménység HV kp/mm²	Brinell keménység HB kp/mm²	Rockwell keménység, kp/mm²							Shore keménység (visszapattanás) Sh
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N	
740	230	219	96,7	(113,4)	–	–	–	–	–	–	–
755	235	223	–	–	–	–	–	–	–	–	–
770	240	228	98,1	(114,3)	20,3	60,7	40,3	(69,6)	(41,7)	(19,9)	–
773	241	229	98,2	–	20,5	60,8	–	–	–	–	34
785	245	233	–	–	21,3	61,2	41,1	70,1	42,5	21,1	–
791	247	235	99,0	–	21,7	61,4	–	–	–	–	35
800	250	238	99,5	(115,1)	22,2	61,6	41,7	70,6	43,4	22,2	–
812	253	241	100,0	–	22,8	61,8	–	–	–	–	36
820	255	242	–	–	23,1	62,0	42,2	71,1	44,2	23,2	–
835	260	247	(101)	–	24,0	62,4	43,1	71,6	45,0	24,3	–
838	261	248	(101)	–	24,2	62,5	–	–	–	–	37
850	265	252	–	–	24,8	62,7	43,7	72,1	45,7	25,2	–
862	269	255	(102)	–	25,4	63,0	–	–	–	–	38
865	270	257	(102)	–	25,6	63,1	44,3	72,6	46,4	26,2	–
880	275	261	–	–	26,4	63,5	44,9	73,0	47,2	27,1	–
884	276	262	(103)	–	26,6	63,6	–	–	–	–	39
900	280	266	(104)	–	27,1	63,8	45,3	73,4	47,8	27,9	–
912	284	269	(104)	–	27,6	64,1	–	–	–	–	40
915	285	271	–	–	27,8	64,2	46,0	73,8	48,4	28,7	–
930	290	276	(105)	–	28,5	64,5	46,5	74,2	49,0	29,5	–
938	292	277	(105)	–	28,8	64,6	–	–	–	–	41
950	295	280	–	–	29,2	64,8	47,1	74,6	49,7	30,4	–
965	300	285	–	–	29,8	65,2	47,5	74,9	50,2	31,1	–
992	309	293	(106)	–	30,9	65,7	–	–	–	–	43
995	310	295	–	–	31,0	65,8	48,4	75,6	51,3	32,5	–
1027	319	302	(107)	–	32,1	66,3	–	–	–	–	45

1. táblázat folytatódik

Szakító- (húzó-) szilárdság N/mm²	Vickers keménység HV kp/mm²	Brinell keménység HB kp/mm²	Rockwell keménység, kp/mm²								Shore keménység (visszapattanás) Sh
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N	
1030	320	304	–	–	32,2	66,4	49,4	76,2	52,3	33,9	–
1054	328	311	(107,5)	–	33,1	66,9	–	–	–	–	46
1060	330	314	–	–	33,3	67,0	50,2	76,8	53,6	35,2	–
1092	339	321	(108)	–	34,3	67,5	–	–	–	–	47
1095	340	323	–	–	34,4	67,6	51,1	77,4	54,4	36,5	–
1125	350	332	(108,5)	–	35,5	68,1	51,9	78,0	55,4	37,8	48
1155	360	342	(109)	–	36,6	68,7	52,8	78,6	56,4	39,1	50
1190	370	352	–	–	37,7	69,2	53,6	79,2	57,4	40,4	–
1196	372	353	(110)	–	37,9	69,3	–	–	–	–	51
1220	380	361	–	–	38,8	69,8	54,4	79,8	58,4	41,7	–
1230	383	263	–	–	39,1	70,0	–	–	–	–	52
1255	390	371	–	–	39,8	70,3	55,3	80,3	59,3	42,9	–
1276	396	375	–	–	40,4	70,6	–	–	–	–	54
1290	400	380	–	–	40,8	70,8	56,0	80,8	60,2	44,1	–
1320	410	390	–	–	41,8	71,4	56,8	81,4	61,1	45,3	56
1350	420	399	–	–	42,7	71,8	57,5	81,8	61,9	46,4	–
1368	425	401	–	–	43,1	72,0	–	–	–	–	58
1385	430	409	–	–	43,6	72,3	58,2	82,3	62,7	47,4	–
1420	440	418	–	–	44,5	72,8	58,8	82,8	63,5	48,4	59
1455	450	428	–	–	45,3	73,3	59,4	83,2	64,3	49,4	–
1470	455	430	–	–	45,7	73,4	–	–	–	–	61
1485	460	437	–	–	46,1	73,6	60,1	83,6	64,9	50,4	–
1520	470	447	–	–	46,9	74,1	60,7	83,9	65,7	51,3	–
1527	472	449	–	–	47,1	74,2	–	–	–	–	63
1555	480	456	–	–	47,7	74,5	61,3	84,3	66,4	52,2	–
1595	490	466	–	–	48,4	74,9	61,6	84,7	67,1	53,1	–

1. táblázat folytatódik

Szakító- (húzó-) szilárdság N/mm²	Vickers keménység HV kp/mm²	Brinell keménység HB kp/mm²	Rockwell keménység, kp/mm²								Shore keménység (visszapattanás) Sh
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N	
1598	491	467	–	–	48,5	75,0	–	–	–	–	65
1630	500	475	–	–	49,1	75,3	62,2	85,0	67,7	53,9	–
1658	508	482	–	–	49,6	75,6	–	–	–	–	66
1665	510	485	–	–	49,8	75,7	62,9	85,4	68,3	54,7	–
1700	520	494	–	–	50,5	76,1	63,5	85,7	69,0	55,6	–
1732	528	502	–	–	51,0	76,3	–	–	–	–	68
1740	530	504	–	–	51,1	76,4	63,9	86,0	69,5	56,2	–
1775	540	513	–	–	51,7	76,7	64,4	86,3	70,0	57,0	–
1800	547	520	–	–	52,1	76,9	–	–	–	–	70
1810	550	523	–	–	52,3	77,0	64,8	86,6	70,5	57,8	–
1845	560	532	–	–	53,0	77,4	65,4	86,9	71,2	58,6	–
1876	569	540	–	–	53,5	77,7	–	–	–	–	71
1880	570	542	–	–	53,6	77,8	65,8	87,2	71,7	59,3	–
1920	580	551	–	–	54,1	78,0	66,2	87,5	72,1	59,9	–
1955	590	561	–	–	54,7	78,4	66,7	87,8	72,7	60,5	73
1995	600	570	–	–	55,2	78,6	67,0	88,0	73,2	61,2	–
2030	610	580	–	–	55,7	78,9	67,5	88,2	73,7	61,7	–
–	615	584	–	–	56,0	79,1	–	–	–	–	75
2070	620	589	–	–	56,3	79,2	67,9	88,5	74,2	62,4	–
2105	630	599	–	–	56,8	79,5	68,3	88,8	74,6	63,0	–
2145	640	608	–	–	57,3	79,8	68,7	89,0	75,1	63,5	77
2180	650	618	–	–	57,8	80,0	69,0	89,2	75,5	64,1	–
(2210)	660	(625)	–	–	58,3	80,3	69,4	89,5	75,9	64,7	–
–	667	–	–	–	58,7	80,5	–	–	–	–	79
–	670	–	–	–	58,8	80,6	69,8	89,7	76,4	65,3	–
(2260)	680	(640)	–	–	59,2	80,8	70,1	89,8	76,8	65,7	80
–	690	–	–	–	59,7	81,1	70,5	90,1	77,2	66,2	–
(2300)	697	(650)	–	–	60,0	81,2	–	–	–	–	81

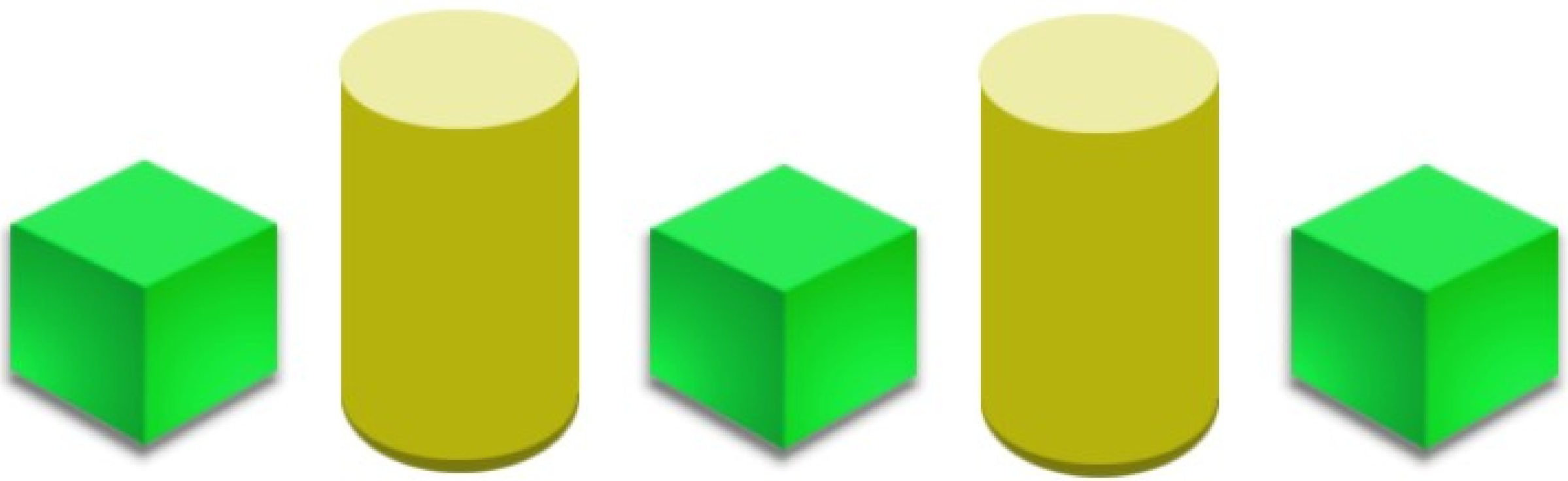
1. táblázat folytatódik

Szakító- (húzó-) szilárdság N/mm^2	Vickers keménység HV kp/mm^2	Brinell keménység HB kp/mm^2	Rockwell keménység, kp/mm^2								Shore keménység (visszapattanás) Sh
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N	
–	700	–	–	–	60,1	81,3	70,8	90,3	77,6	66,7	–
–	720	(670)	–	–	61,0	81,8	71,5	90,7	78,4	67,7	83
(2400)	737	(680)	–	–	61,7	82,1	–	–	–	–	84
–	740	–	–	–	61,8	82,2	72,1	91,0	79,1	68,6	–
–	760	–	–	–	62,5	82,6	72,6	91,2	79,7	69,4	86
(2500)	780	(710)	–	–	63,3	83,0	73,3	91,5	80,4	70,2	87
–	800	–	–	–	64,0	83,4	73,8	91,8	81,1	71,0	88
–	820	–	–	–	64,7	83,8	74,3	92,1	81,7	71,8	90
(2650)	840	(750)	–	–	65,3	84,1	74,8	92,3	82,2	72,2	91
–	860	–	–	–	65,9	84,4	75,3	92,5	82,7	73,1	92
–	880	–	–	–	66,4	84,7	75,7	92,7	83,1	73,6	93
–	900	–	–	–	67,0	85,0	76,1	92,9	83,6	74,2	95
–	920	–	–	–	67,5	85,3	76,5	93,0	84,0	74,8	96
–	940	–	–	–	68,0	85,6	76,9	93,2	84,4	75,4	97

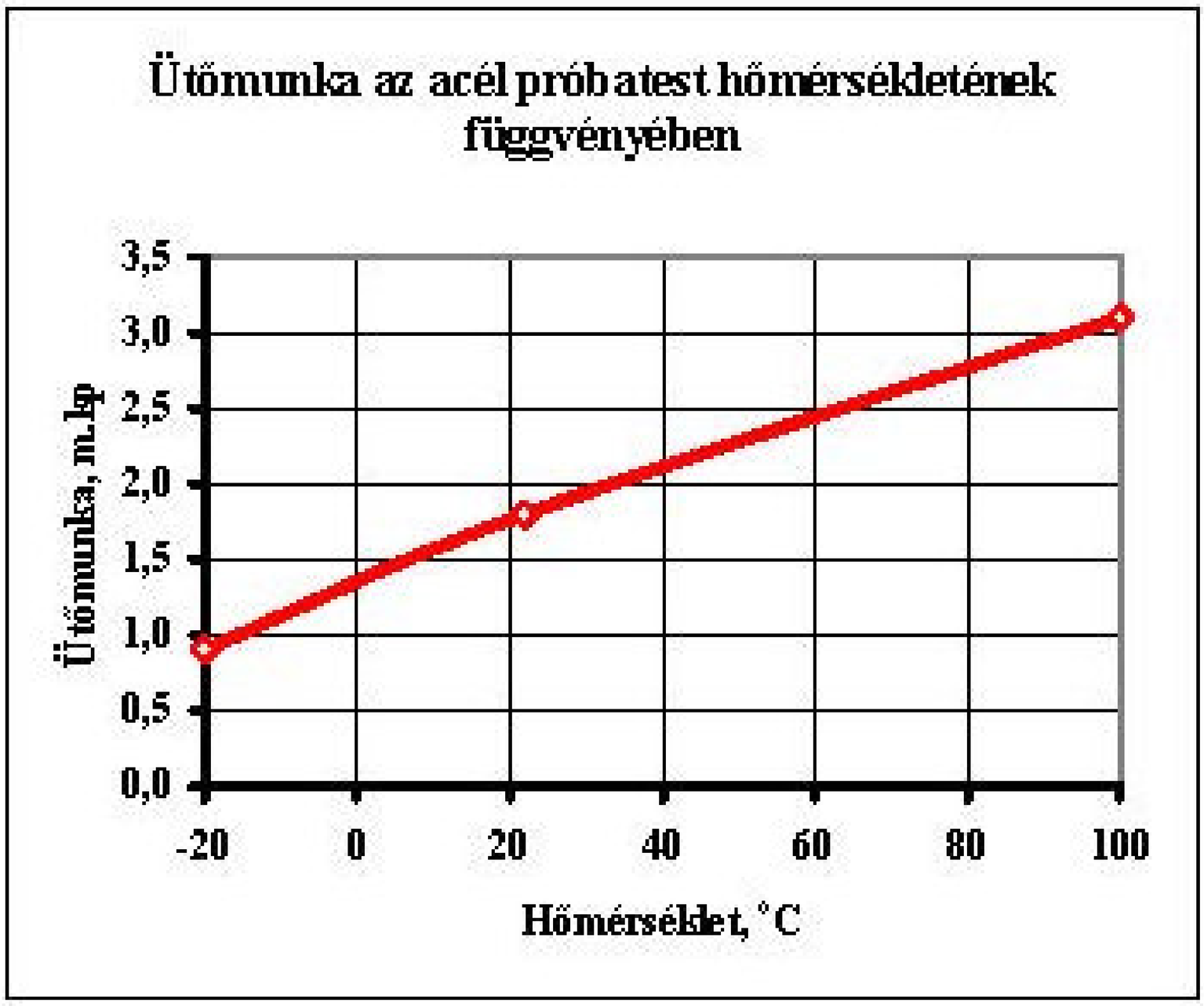
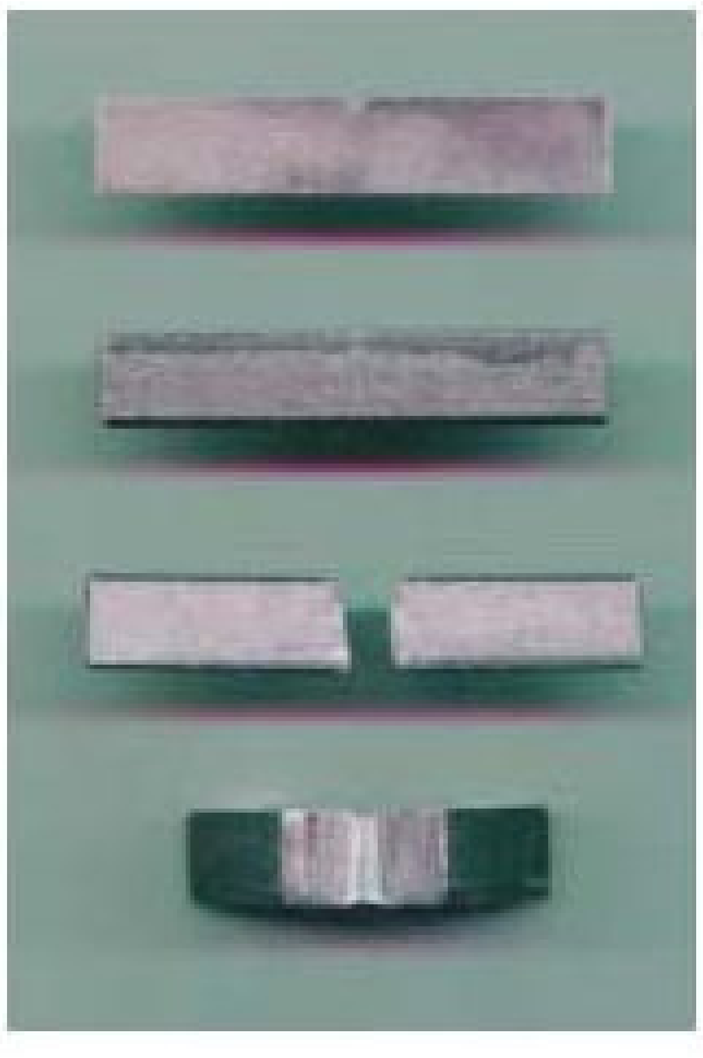
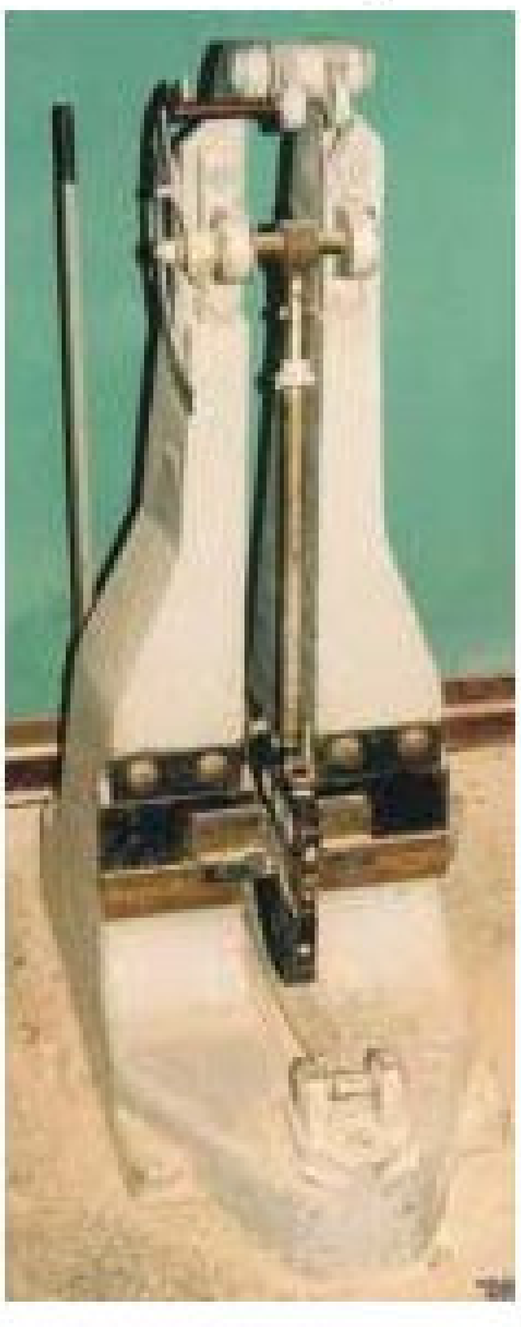
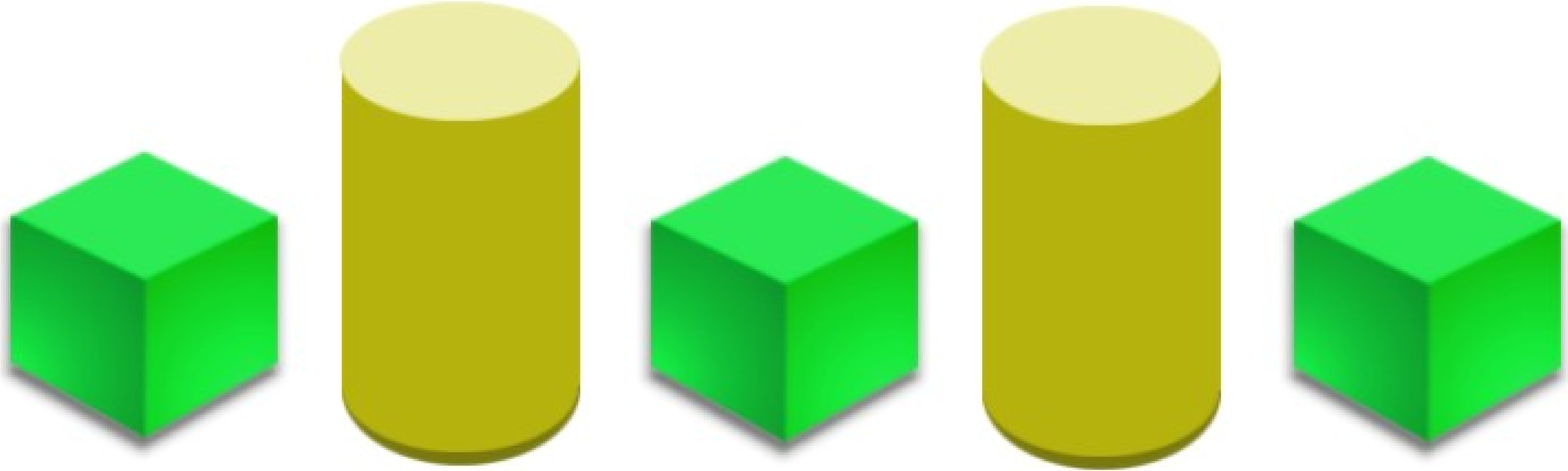
A táblázat elkészítéséhez használt előírások és web oldalak:

MI 51191:1979 Acélok Vickers, Brinell és Rockwell szerinti keménységének és szakítószilárdságának összehasonlító táblázata
DIN 50150:2000 Prüfung metallischer Werkstoffe. Umwertung von Härtewerten
http://www2.mitutoyo.de/uploads/media/Haertevergleichstabelle.pdf
http://www.kennametal.com/images/pdf/brands/widia/WIDIA_Technical_GEImm_544-560_2005.pdf
http://www.drahpo.de/de/pdf/anlagen/S11%20Härtevergleichstabelle.pdf
http://www.stahlbecker.de/pdf/haertevergleichstabelle.pdf

Megjegyzések:
- A 450 HB alatti Brinell keménységeket acélgolyóval, a 450 HB feletti Brinell keménységeket keményfém golyóval határozták meg.
- A HB Brinell keménység [kp/mm^2] és az acél f_t szakítószilárdsága [N/mm^2] közötti összefüggés: $f_t = 3{,}51 \cdot HB - 26{,}7$; illetve: $f_t = 0{,}0006 \cdot HB^2 + 3{,}116 \cdot HB + 23{,}87$ (Lásd a diagramokat.) Az átszámítás eredményét egész számra kell kerekíteni.
- A HV Vickers keménység és a HB Brinell keménység közötti összefüggés 650 HV értékig: $HB = 0{,}95 \cdot HV$
- A tizedes számjegyre végződő értékek csak tájékoztatásul szolgálnak, azokat egész számra kell kerekíteni.
- A () zárójelben lévő értékeket nem szokták használni.



Bemetszett acél próbatest ütőmunka vizsgálata Charpy kalapáccsal

Hőmérséklet °C	Felhasznált ütőmunka	
	m.kp	Joule
-20	0,9	9
+ 22	1,8	18
+ 100	3,1	31

1 Joule = 1 m.N
1 Joule = 0,1 m.kp
10 Joule = 1 m.kp